

LEMBAR PENGESAHAN

**MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG
HOTEL MENUR SURABAYA DENGAN
MENGUNAKAN BETON PRACETAK
BERPELAT *HOLLOW CORE* SISTEM
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi Sarjana Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya**

Oleh :
AZWIN ANWAR
NRP. 3107 100 098

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. IMAN WIMBADI, MS.
NIP. 194908261978031001



SURABAYA
Juli 2014

DESIGN MODIFICATION OF MENUR HOTEL SURABAYA BUILDING UTILIZING PRECAST CONCRETE WITH *HOLLOW CORE SLAB* MEDIUM MOMENT RESISTING FRAME

Name : Azwin Anwar
NRP : 3107100098
Faculty : Teknik Sipil
Guide lecturer : Ir. Iman Wimbadi, MS.

Nowadays attention towards building completion speed garnered more attention, this was because construction contract system getting more complicated. Because construction speed is one of the deciding factor in a victory or defeat in tender, since the building speed is important factor for the owner. Building contractor must think of completion date of a structure in their proposed contract or they could face a fine. With the advancement of concrete technology, it is found a way to create a multistory building from concrete formed in factory and contractor simply connecting it on the site. This concrete technique commonly called the precast concrete. With this technique building process could accelerate significantly Another good point of using precast concrete is the quality of the concrete is more controlled because it's uild in factory and because it's more practical, the number of worker needed in building site reduced

Project of Menur Hotel located in Surabaya in this final project will be modiflicated by using a precast concrete on it's beam, slab which is Hollow core and stairs while it's column would still be using cast in-situ

method. Designed in the new location that is Balikpapan, the structure used is SRPMM (Frame resisting moment middle).

The purpose of this modification is to design the structure plan for hotel Menur Surabaya with compatible precast concrete capable of reciving planned dead and live load and quake load based on it's location.

Key word: Pracetak, Hollow core, Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah

MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG HOTEL MENUR SURABAYA DENGAN MENGUNAKAN BETON PRACETAK BERPELAT *HOLLOW CORE* SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH

Nama : Azwin Anwar
NRP : 3107100098
Jurusan : Teknik Sipil
Dosen : Ir. Iman Wimbadi, MS.
Pembimbing

Pada jaman sekarang, kecepatan pembangunan menjadi salah satu faktor yang menentukan dalam proyek gedung atau struktur yang lainnya. Karena cepat atau tidaknya pengerjaan bangunan bisa menentukan menang atau tidaknya kontraktor dalam tender proyek. Kecepatan mengerjakan proyek juga menentukan biaya yang akan dikeluarkan untuk pengerjaan sebuah proyek. Dengan majunya teknologi beton, telah ditemukan cara membangun gedung dengan beton yang telah dicetak sebelumnya di pabrik atau tempat yang dikhususkan untuk mencetaknya dan penggunaannya tinggal disatukan saja pada di lokasi. Beton yang digunakan pada dengan teknik ini biasa disebut dengan beton precast / pracetak. Dengan menggunakan teknik beton pracetak ini, waktu pembangunan bisa dipercepat dengan cukup signifikan. Kelebihan lain dari

penggunaan beton pracetak adalah mutu beton lebih bisa terjamin karena diproduksi di pabrik dan pengerjaannya lebih praktis sehingga tenaga kerja yang dibutuhkan bisa dikurangi.

Proyek Gedung Hotel Menur yang dibangun di daerah Jalan Menur Surabaya dibangun dengan metode cor setempat, pada tugas akhir ini akan dimodifikasi menggunakan beton pracetak pada elemen struktur balok dan pelatnya. Sedangkan struktur pondasi, tangga dan kolomnya akan direncanakan tetap dengan menggunakan sistem cor setempat. Dalam tugas akhir ini, gedung akan direncanakan dengan menggunakan SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah).

Tujuan dari modifikasi ini adalah perencanaan gedung Gedung Hotel Menur Surabaya dengan menggunakan beton pracetak yang mampu menahan beban yang mungkin terjadi pada struktur baik berupa beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa sesuai dengan zona gempa dimana struktur ini berada.

Key word: Pracetak, Hollow Core, Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Beton pracetak adalah beton yang dicetak / dibuat terlebih dahulu di tempat yang memang disediakan khusus untuk membuat beton pracetak bisa di pabrik atau tempat di dekat lokasi konstruksi yang memang digunakan untuk memproduksi beton pracetak, setelah itu elemen-elemen tersebut dirakit menjadi satu kesatuan sebagai sebuah bangunan.

Sebelum dirangkai menjadi sebuah kesatuan sebagai struktur bangunan secara utuh, elemen-elemen pracetak tersebut mengalami beberapa proses yang memerlukan perhatian khusus bagi para perencana dalam perencanaan struktur dengan elemen pracetak tersebut. Proses-proses tersebut antara lain, proses pembuatan beton di pabrik, penyimpanan, pengangkatan, pemasangan serta sambungan yang digunakan.

2.2 Perbandingan Sistem Konvensional dan Sistem Pracetak

Perbandingan antara sistem konvensional dan sistem pracetak terdiri dari desain, bentuk dan ukurannya, waktu pelaksanaan, teknologi pelaksanaan, koordinasi pelaksanaan, pengawasan/kontrol kerja, kondisi lahan, kondisi cuaca, ketepatan/akurasi ukuran dan kualitas. Dari berbagai perbandingan tersebut dapat disajikan berupa tabel 2.1:

**Tabel 2.1 Perbandingan Sitem Konvensional dan Beton
Pracetak**

ITEM	KONVENSI ONAL	PRACETAK
Desain	Sederhana	Membutuhkan wawasan yang luas terutama yang ada kaitannya dengan fabrikasi sistem, transportasi serta pelaksanaan atau pemasangan komponen, sistem sambungan dsb
Bentuk dan ukurannya	Efisien untuk bentuk yang tidak teratur dan bentang-bentang yang tidak mengulang.	Efisien untuk bentuk yang teratur/relatif besar dengan jumlah bentuk-bentuk yang berulang
Waktu pelaksanaan	Lebih lama.	Lebih cepat, karena dapat dilaksanakan secara paralel sehingga hemat waktu 20-25%

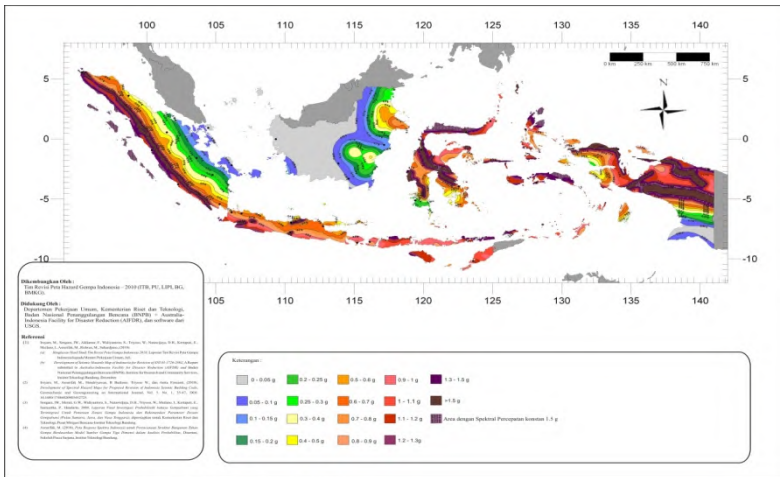
Teknologi pelaksanaan	Konvensional	Butuh tenaga yang mempunyai keahlian
Koordinasi pelaksanaan	Kompleks	Lebih sederhana, karena semua pengecoran elemen struktur pracetak telah dilakukan di pabrik.
Pengawasan /kontrol kerja	Bersifat kompleks, serta dilakukan dengan cara terus menerus.	Sifatnya lebih mudah karena telah dilakukan pengawasan oleh kualitas kontrol di pabrik.
Kondisi lahan	Butuh area yang relatif luas karena butuh adanya penimbunan material dan ruang gerak.	Tidak memerlukan lahan yang luas untuk penyimpanan material selama proses pengerjaan konstruksi berlangsung, sehingga lebih bersih terhadap lingkungan.
Kondisi cuaca	Banyak dipengaruhi oleh keadaan cuaca.	Tidak dipengaruhi cuaca karena dibuat di pabrik.

Ketepatan/akurasi ukuran	Sangat tergantung keahlian pelaksana.	Karena dilaksanakan di pabrik, maka ketepatan ukuran lebih terjamin.
Kualitas	Sangat tergantung banyak faktor, terutama keahlian pekerja dan pengawasan.	Lebih terjamin kualitasnya karena di kerjakan di pabrik dengan menggunakan sistem pengawasan pabrik.

Sumber : M.Ali.Affandi (2004)

2.3 Karakteristik Resiko Gempa Wilayah

Wilayah gempa di Indonesia dikategorikan dalam 6 wilayah gempa yang sesuai dengan SNI 03-1726-2010, yaitu wilayah gempa 1 dan 2 yang memiliki resiko kegempaan rendah, wilayah 3 dan 4 yang memiliki resiko kegempaan sedang dan wilayah 5 dan 6 yang memiliki resiko kegempaan tinggi.



Gambar 2.1 Wilayah Gempa di Indonesia

2.4 Tinjauan Jenis Struktur

Dalam hal ini jenis struktur dibedakan menjadi 8 sistem dan subsistem berdasarkan SNI 03-1726-2010, yaitu :

- ### 1. Rangka Bresing Konsentris

Rangka bresing dimana anggotanya difungsikan untuk menahan gaya aksial, selain dapat juga difungsikan sebagai sistem penahan gaya lateral yang diakibatkan gempa. Sistem ini terdiri atas Rangka Bresing Konsentris Biasa dan Rangka Bresing Konsentris Khusus.

- ## 2. Rangka Bresing Eksentris

Rangka bracing diagonal dimana salah satu dari ujung bracing tersebut terhubung ke balok, namun sejarak tertentu dari sambungan balok-kolom, atau terhubung dengan bracing diagonal yang lain. Sitem

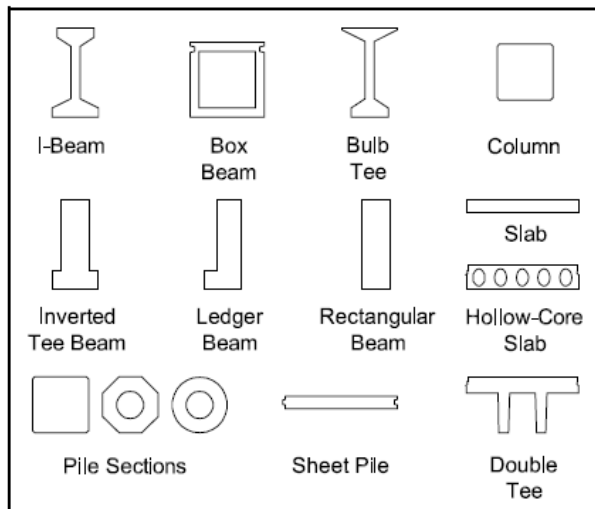
rangka ini dapat difungsikan sebagai sistem penahan gaya lateral yang diakibatkan gempa.

3. **Sistem Dinding Penumpu**
Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, dimana beban gravitasi tersebut dipikul oleh dinding penumpu dan sistem bresing, sedangkan beban lateral akibat gaya gempa dipikul oleh dinding geser atau rangka bresing.
4. **Sistem Ganda**
Sistem struktur dengan rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh sistem rangka pemikul momen dan dinding geser ataupun oleh rangka pemikul momen dan rangka bresing.
5. **Sistem Interaksi Dinding Geser dan Rangka**
Sistem struktur yang menggunakan kombinasi dinding geser dan sistem rangka beton bertulang biasa.
6. **Sistem Kolom Kantilever**
Sistem struktur penahan gaya gempa, dimana gaya lateral yang diakibatkan oleh gempa disalurkan ke kolom yang berperilaku sebagai kolom kantilever yang terjepit di bagian dasar gedung.
7. **Sistem Rangka Gedung**
Sistem struktur dengan rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul dinding geser ataupun oleh rangka bresing.
8. **Sistem Rangka Pemikul Momen**
Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap,

sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Sistem ini terbagi menjadi 3, yaitu SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen biasa), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), dan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)

2.5 Elemen Struktur Pracetak

Komponen pracetak digunakan dalam berbagai macam jenis aplikasi-aplikasi dan proyek yang beraneka ragam. Namun karena pembuatannya dilakukan di pabrik maka sudah seharusnya perencana mengetahui jenis-jenis bentuk elemen pracetak agar bisa merencanakan strukturnya secara efisien dan optimal. Komponen-komponen kunci beton pracetak secara lebih lengkap dapat dilihat pada gambar 2.1. penjelasannya meliputi:



Gambar 2.2 Tipe beton pracetak yang sering digunakan
(*PCI industry handbook 6th edition*)

2.5.1 Pelat *Hollow Core*

Ada beberapa jenis pelat yang umum diproduksi dan digunakan sebagai elemen pracetak, salah satunya adalah pelat pracetak berlubang (*Hollow Core Slab*). Pelat ini merupakan pelat yang panjang yang memiliki lubang di sepanjang pelat, hal ini guna mengurangi beban sambil mempertahankan kekuatan struktural.

Keunggulan pelat *hollow core* meliputi (Brosur dari perusahaan *hollow core concrete Pty. Ltd*) :

1. Pembuatan di pabrik.
2. Mengurangi tenaga kerja di situs proyek.
3. Konstruksi yang cepat.
4. Durabilitas.
5. Mampu digunakan untuk bentang panjang

2.5.2 Balok dan kolom

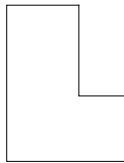
Untuk balok dan kolom pracetak (*Precast Beams and columns*) termasuk didalamnya kolom-kolom dan variasi bentuk balok, ada 3 jenis balok yang sering atau umum digunakan :

1. Balok berpenampang persegi (*Rectangular Beam*)
Keuntungan dari balok jenis ini adalah sewaktu fabrikasi lebih mudah dengan bekisting yang lebih ekonomis. Bentuk balok pracetak berpenampang persegi digambarkan pada gambar 2.3.



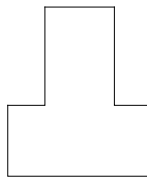
Gambar 2.3. Balok Berpenampang Persegi

2. Balok berpenampang L (*Ledger Beam*), Bentuk balok pracetak berpenampang L digambarkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Balok Berpenampang L

3. Balok berpenampang T terbalik (*Inverted Tee Beam*) Bentuk balok pracetak berpenampang T Terbalik digambarkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Balok berpenampang T Terbalik

2.6 Perencanaan Sambungan

Salah satu penting dalam penggunaan beton pracetak adalah memperhatikan masalah sambungan,

tujuan dari sambungan adalah berfungsi sebagai penerus beban, menahan pergerakan struktur dan/atau memberikan stabilitas (*PCI industry handbook 6th edition*) . Perencanaan sambungan ini sama pentingnya dengan perencanaan struktur utama itu sendiri karena kegagalan pada sambungan bisa menyebabkan keruntuhan struktur bangunan.

Dalam teknologi beton pracetak, terdapat 3 (tiga) macam sambungan yang umum digunakan. Sambungan tersebut antara lain, sambungan dengan cor di tempat (*in situ concrete joint*), sambungan dengan menggunakan las dan sambungan dengan menggunakan baut. Masing-masing dari jenis sambungan tersebut memiliki karakteristik serta kekurangan dan kelebihan sendiri-sendiri yang secara garis besar dapat disajikan dalam Tabel 2.2. berikut ini.

Tabel 2.2. Perbandingan metode penyambungan

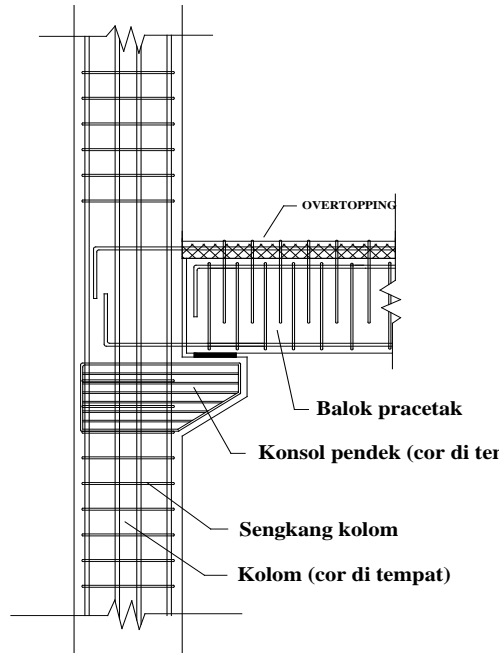
Deskripsi	Sambungan dengan cor setempat	Sambungan dengan las / baut
Keutuhan struktur	Monolit	Tidak monolit
Waktu yang dibutuhkan agar sambungan dapat berfungsi secara efektif	Perlu <i>setting time</i>	Segera dapat berfungsi
Jenis sambungan	Basah	Kering
Ketinggian bangunan	-	Maksimal 25 meter
Toleransi	Lebih tinggi	Rendah, karena

dimensi		dibutuhkan akurasi yang tinggi selama proses produksi dan <i>erection</i> .
---------	--	---

Sumber : Wulfram I. Ervianto (2006)

2.6.1 Sambungan Cor Setempat

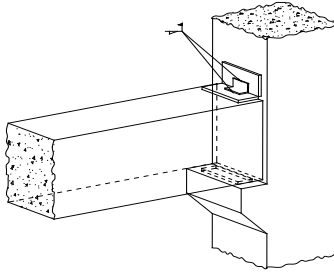
Sambungan ini merupakan sambungan dengan menggunakan tulangan biasa sebagai penyambung / penghubung antar elemen beton baik antar pracetak ataupun antara pracetak dengan cor ditempat. Elemen pracetak yang sudah berada di tempatnya akan di cor bagian ujungnya untuk menyambungkan elemen satu dengan yang lain agar menjadi satu kesatuan yang monolit seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5. Sambungan dengan cor setempat ini tergolong dalam kategori sambungan basah. Sambungan jenis ini sering diterapkan dalam pelaksanaan konstruksi, karena dapat menghasilkan struktur yang monolit sehingga struktur bangunan bisa lebih kaku dibanding menggunakan jenis sambungan yang lainnya. Selain itu, sistem ini tergolong mudah dikerjakan pada saat pelaksanaan di lapangan.



Gambar 2.6. Sambungan dengan cor setempat

2.6.2 Sambungan Las

Alat sambung jenis ini menggunakan plat baja yang ditanam dalam beton pracetak yang akan disambung. Kedua pelat ini selanjutnya disambung atau disatukan dengan bantuan las, seperti terlihat pada Gambar 2.6. Melalui pelat baja inilah gaya-gaya yang akan diteruskan ke komponen yang terkait. Setelah pekerjaan pengelasan, dilanjutkan dengan menutup pelat sambung tersebut dengan adukan beton yang bertujuan untuk melindungi pelat dari korosi.

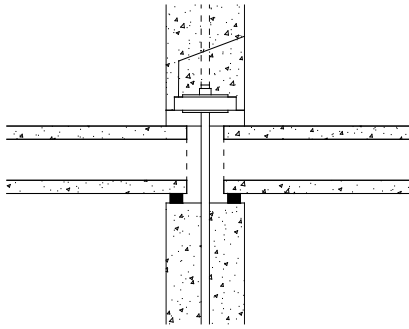


Gambar 2.7 Sambungan dengan Las

Umumnya, pada pertemuan balok dan kolom, ujung balok didukung oleh corbels atau biasa disebut dengan konsol, yang menjadi satu dengan kolom. Penyatuan antara dua komponen tersebut menggunakan las yang dilaksanakan pada pelat baja yang tertanam dalam balok dengan pelat baja yang telah disiapkan pada sisi kolom.

2.6.3 Sambungan Baut

Pada penyambungan cara ini juga diperlukan pelat baja di kedua elemen beton pracetak yang akan disatukan. Kedua komponen tersebut disatukan melalui pelat tersebut dengan alat sambung berupa baut dengan kuat tarik tinggi. Selanjutnya pelat tersebut dicor dengan adukan beton, guna melindungi dari korosi, contohnya bisa dilihat pada gambar 2.7.



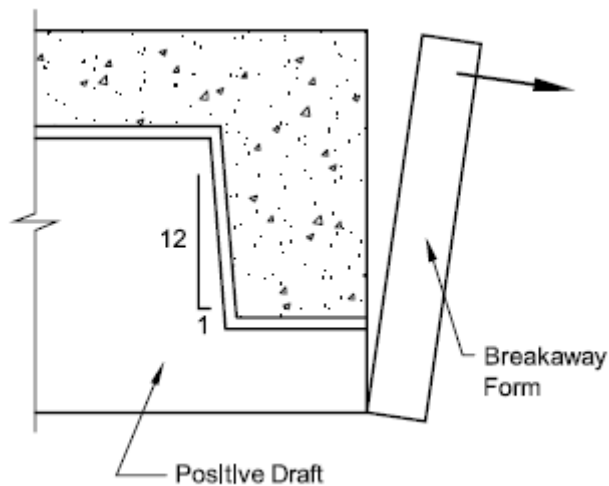
Gambar 2.8. Sambungan dengan Menggunakan Baut

2.7 Penanganan Produk Pracetak

Perencanaan dengan metode-metode produksi adalah sangat penting. Sebelum digunakan produk pracetak mengalami fase-fase perlakuan yang meliputi:

2.7.1 Pengangkatan dari bekisting (*stripping*),

Setelah beton selesai difabrikasi, perlu dilakukan pemindahan beton pracetak dari cetaknya tanpa merusak beton tersebut. Teknik *positive drafts* atau *breakaway* (lihat gambar 2.8) untuk melepaskan dari cetakan membuat kita bisa mengangkat beton tanpa terjepit/teriris di ujungnya.



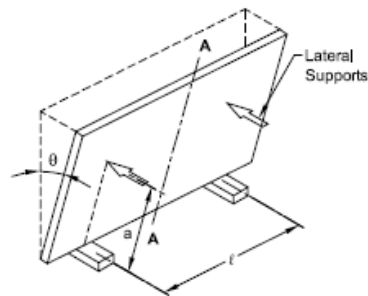
Gambar 2.9. melepaskan beton pracetak dengan teknik *positive drafts* atau *breakaway*

Hal-hal yang perlu diperhatikan antara lain:

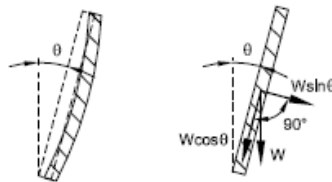
- a. Orientasi produk saat penyimpanan, pengiriman dan pemasangan sangat penting dalam menentukan metode *stripping*.
- b. Jumlah dan lokasi peralatan angkat, untuk menjaga tegangan pada batas yang diperbolehkan yang bergantung pada kriteria yang digunakan, apakah tidak boleh ada crack atau boleh ada dengan dikontrol.

2.7.2 Penyimpanan

Penyimpanan dilakukan untuk menunggu saat giliran pemasangan beton pracetak, penting diperhatikan bahwa cara menyimpan beton pracetak adalah penting, seperti contohnya menyimpan panel pelat hendaknya disimpan secara vertikal tapi secara miring dengan memperhatikan panjang penyangga, berat beton pracetak dan lain-lain, seperti pada gambar 2.9.



Panel Tilted Out Of Vertical For Storage



Section A-A

Gambar 2.10. Cara memberdirikan dan menyimpan panel pracetak

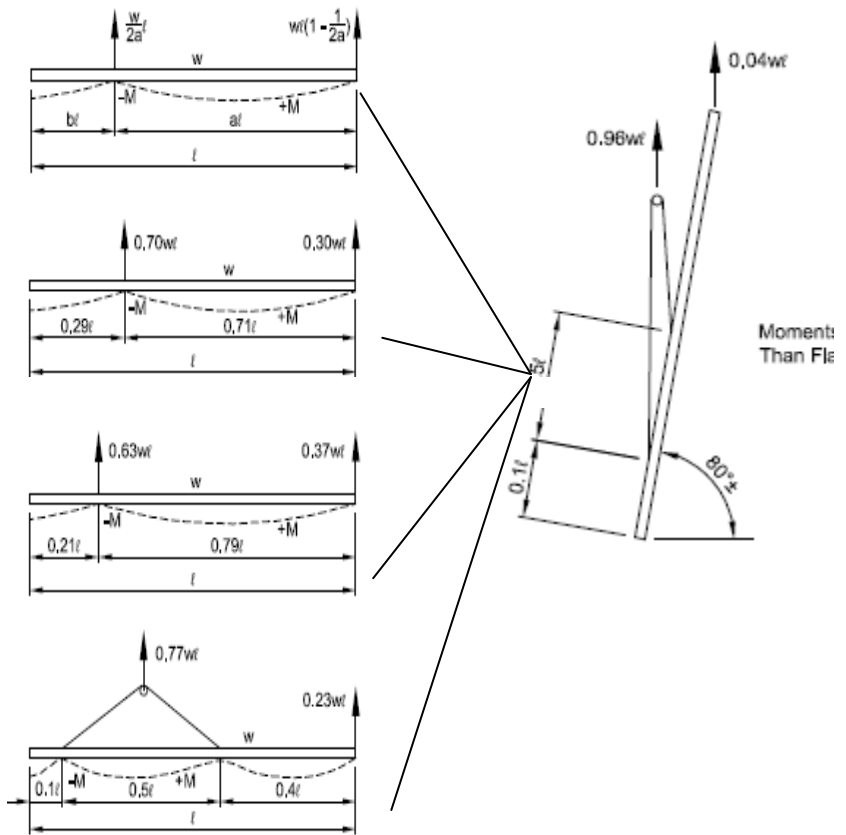
Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam memilih tempat penyimpanan, antara lain:

- a. Orientasi produk apakah horisontal, vertikal, atau membentuk sudut

- b. Lokasi titik-titik angkat sementara
- c. Lokasi sokongan sehubungan dengan produk-produk lain yang juga disimpan.
- d. Perlindungan dari sinar matahari langsung untuk mencegah pemanasan di satu sisi saja.
- e. Sebaiknya dekat dengan lokasi stripping (jika pencetakan dilakukan di dekat site proyek).

2.7.3 Transportasi ke lokasi (*transportation to the job site*)

Metode transportasi yang digunakan untuk memindahkan beton pratekan menuju lokasi proyek dapat merubah desain struktural karena dipengaruhi ukuran, batas bobot dan efek gerak dinamis pada jalan. Kita harus mengecek rute jalan mana saja yang akan ditempuh dengan memperhitungkan luas jalan dan batas bobot yang diperbolehkan melewati jalan tersebut, begitu pula dengan jenis kendaraan yang digunakan dalam proses transportasi ini. Sebagai contoh pengangkatan pelat yang digambarkan pada gambar 2.10. dibawah ini saat pelat akan dipindahkan ke lokasi proyek



Gambar 2.11. Beberapa jenis pengangkatan pelat

Proses ini juga dilakukan saat stripping dan meletakkan beton ke kendaraan

2.7.4 Pemasangan (*erection*)

.Sering kali beton pratekan harus di atur kembali posisinya saat setelah sampai ke lokasi proyek untuk bisa dipasang pada posisi akhirnya di struktur bangunan. Seperti yang ditunjukkan dalaam bentuk foto seperti pada gambar 2.11 adalah daerah sekitar HBK saat beton pracetak telah dipasang.



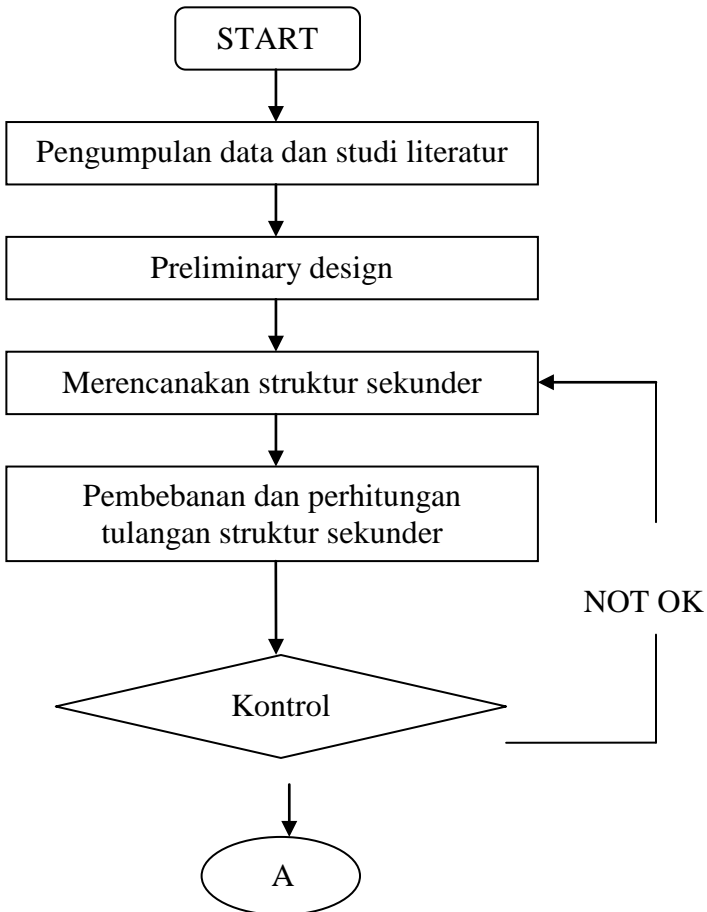
Gambar 2.12. Foto daerah HBK

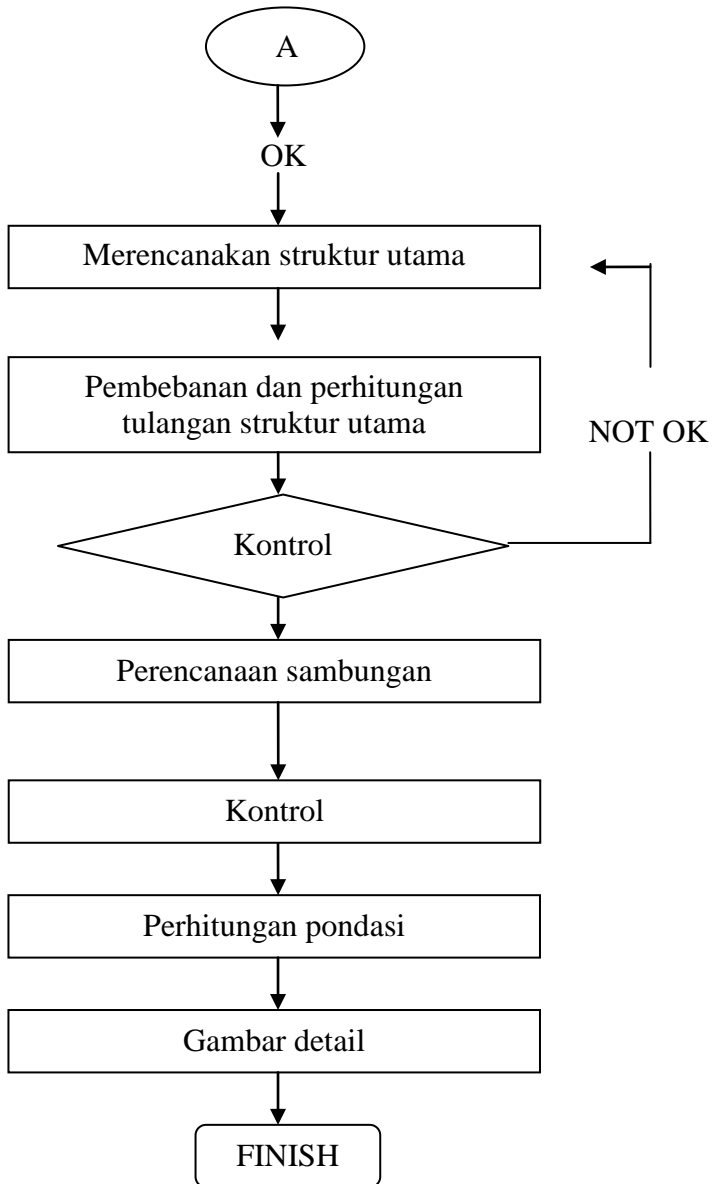
”Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB III METODOLOGI

3.1 Bagan Alir

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana tahapan-tahapan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Tahapan-tahapan tersebut antara lain adalah :





Gambar 3.1 Bagan Alir

3.2 Pengumpulan Data

Mengumpulkan data lapangan yang akan digunakan sebagai data dalam obyek perancangan. Data lapangan tersebut berupa data tanah, data bahan, serta data gedung yang akan digunakan sebagai obyek perancangan seperti gambar arsitektur dan data tanah, serta beberapa data lain. Adapun rincian dari data tersebut antara lain :

- Data Umum Bangunan

Nama gedung : Gedung Hotel menor Surabaya

Lokasi : Jl. Raya Menor Surabaya

Lokasi Modifikasi : Balikpapan

Fungsi : Hotel

Jumlah lantai : 12 lantai

Tinggi Bangunan : $\pm 45,5$ m

Ketinggian tiap lantai : $\pm 3,5$ m

Jenis tanah : tanah keras

- Data Bahan :

Kekuatan tekan beton (f'_c) = 30 MPa

Jenis baja (f_y) = BJ 40, f_y = 400 MPa

- Data Tanah

Data tanah digunakan untuk merencanakan pondasi gedung tersebut

- Data Tanah

Data tanah digunakan untuk merencanakan pondasi gedung tersebut.

3.3 Studi Literatur

Mencari literatur dan peraturan gedung (*building code*) yang menjadi acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

3.4 Preliminary Design

Preliminary design merupakan tahap awal dari perencanaan. Semua elemen struktur seperti balok anak, balok induk, kolom dan pelat direncanakan dimensinya untuk digunakan dalam analisa dan tahap perancangan selanjutnya.

3.4.1 Perencanaan Pelat Hollow core

Dimensi pelat satu arah Hollow core didasarkan pada brosur produk pelat hollow core, lalu dipilih profil yang kemudian dihitung kemampuan profil tersebut terhadap beban rencana.

3.4.2 Perencanaan Dimensi Balok

Penentuan tinggi balok minimum (h_{min}) dihitung berdasarkan *SNI 0.3-2847-2002 Psl. 11.5.2.2. Tabel 8* dimana bila persyaratan ini telah dipenuhi maka tidak perlu dilakukan kontrol lendutan. Untuk balok dengan satu ujung menerus digunakan rumus sebagai berikut :

$$h_{min} = \frac{L}{18.5} \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \quad \dots f_y \text{ selain } 400 \text{ Mpa}$$

$$h_{min} = \frac{L}{18.5} \quad \dots f_y 400 \text{ Mpa}$$

Sedangkan untuk balok dengan kedua ujung menerus digunakan rumus sebagai berikut :

$$h_{min} = \frac{L}{21} \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \quad \dots f_y \text{ selain } 400 \text{ MPa}$$

$$h_{min} = \frac{L}{21} \quad \dots f_y 400 \text{ MPa}$$

3.4.3 Perencanaan Dimensi Kolom

Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 11.3.2.2 untuk komponen struktur yang terkena beban aksial dan beban aksial dengan lentur, faktor reduksi yang digunakan adalah $\phi = 0,65$. Setelah itu dapat diperkirakan luas dimensi kolom adalah sebagai berikut :

$$A = \frac{W}{\phi \bullet f_c'} \quad \text{dengan:}$$

A = Luas dimensi kolom

W = Berat beban total yang diterima oleh kolom

f_c' = Kuat tekan beton karakteristik

Dari nilai A, dicari panjang dan lebar kolom yang sesuai.

3.5 Pembebanan Struktur

Acuan pembebanan struktur diambil dari Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung tahun 1983,

(PPIUG 1983). Analisa pembebanan struktur ini meliputi :

- **Beban mati**
Beban mati ialah berat semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, seperti dinding, plafon, spesi, dinding partisi, keramik, serta finishing dan plumbing.
- **Beban hidup / beban lantai**
Beban hidup pada atap diambil sebesar 100 kg/m^2
Beban hidup pada lantai diambil sebesar 250 kg/m^2
- **Beban gempa**
Beban gempa dihitung berdasarkan SNI 03-1726-2010. Analisa gempa rencana ditinjau sebagai pengaruh pembebanan gempa dinamik, karena tinggi struktur yang melebihi 40 m sehingga analisisnya harus dilakukan berdasarkan analisa struktur respons dinamik. Respon Spektrum Gempa Rencana menggunakan responspektrum yang dibuat sendiri dengan mengkombinasi pengaruh lokasi, tipe tanah. Dalam hal ini Sukabumi termasuk dalam wilayah gempa 4. C adalah faktor respon gempa yang dinyatakan dalam percepatan gravitasi sedangkan T adalah waktu getar alami struktur gedung. Gedung umum seperti perumahan, perniagaan, serta perkantoran, Faktor Keutamaan (I) gedung yang digunakan adalah 1. Sedangkan Faktor Daktilitas Struktur Bangunan (R) untuk Sistem Rangka pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah 5,5, seperti yang tercantum dalam Tabel 3 SNI 03-1726-2002.

3.6 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 11.2

- 1) $U = 1.4 D$
- 2) $U = 1.2 D + 1.6 L$
- 3) $U = 1.2 D + 1.0 L \pm 1.0 E$
- 4) $U = 0.9 D \pm 1.0 E$

3.7 Permodelan Struktur

- Saat pemasangan, balok dimodelkan sebagai balok sederhana di atas dua tumpuan. Pada akhir konstruksi (setelah diberi topping) dimodelkan sebagai balok menerus.
- Secara keseluruhan struktur direncanakan dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
- Perencanaan struktur utama meliputi balok induk dan kolom dan pondasi, sedangkan struktur sekunder meliputi pelat, tangga, balok lift dan balok anak.
- Pelat, balok anak dan balok induk, memiliki dimensi yang relatif sama pada setiap lantainya. Maka dari itu, elemen struktur yang direncanakan menggunakan beton pracetak adalah pelat, balok anak dan balok induk. Sedangkan kolom direncanakan menggunakan beton dengan cor di tempat mengingat penulangan komponen kolom cukup rumit dan beragam macamnya.

3.8 Analisa Struktur Utama

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, analisa struktur dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP

2000. Adapun hal-hal yang diperhatikan dalam analisa struktur ini antara lain :

- Bentuk gedung
- Dimensi elemen-elemen struktur dari preliminary design
- Wilayah gempa
- Pembebanan struktur (beban mati, beban hidup, serta beban gempa) dan kombinasi pembebanan
- dll.

Sedangkan output atau hasil dari analisa struktur ini adalah gaya-gaya dalam seperti gaya lintang, gaya momen, dan gaya normal yang nantinya akan digunakan dalam pendetailan struktur selanjutnya, yaitu penulangan struktur dan perencanaan sambungan pada elemen pracetak.

3.9 Perhitungan Struktur Sekunder

3.9.1 Perhitungan Pelat *Hollow core*

Untuk desain pelat hollow core, cross section yang digunakan menggunakan standar dari brosur pabrik. Kemudian ditinjau tentang kehilangan pratekanan, kemampuan memikul lentur dan gesernya, kemudian ditinjau lendutan yang terjadi pada pelat. Dengan rumus sebagai berikut:

A. Kehilangan pratekanan :

- Pemendekan elastis

$$ES = K_{es} \frac{E_s}{E_{ci}} f_{cir}$$

- Rangkak beton

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{cir} - f_{cds})$$

- Penyusutan beton

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} \times K_{sh} \times E_s \times \left(1 - 0,06 \frac{V}{S}\right) \times (100 - RH)$$

- Pengendoran tulangan (*steel relaxation*)

$$RE = [K_{re} - J (SH + CR + ES)]C$$

Maka total kehilangan pratekanan:

$$\frac{ES + CR + SH + RE}{0,7 \times f_{pu}} \times 100\%$$

B. Tegangan saat service :

Hasil kalkulasi tegangan-tegangan dibandingkan dengan tegangan-tegangan ijin sebagai berikut:

- Tegangan tekan: $\sigma_{cs} = 0,45 f'_c$
(SNI 03-2847-2002 pasal 20.4.2.1)
- Tegangan tarik: $\sigma_{ts} = 0,5 \sqrt{f'_c}$
(SNI 03-2847-2002 pasal 20.4.2.3)

C. Tegangan lentur

$$\phi M_n = K'_u \frac{b \cdot d_p^2}{12000}$$

D. Desain geser

Pelat hollow core didesain sesuai dengan SNI-2847-2002 untuk beton prategang. Syarat yang ditentukan dalam SNI adalah sebagai berikut:

$$\phi V_u \geq V_n \quad (\text{SNI pasal 13.1.1})$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (\text{SNI pasal 13.1.1})$$

3.10 Pendetailan Elemen Struktur Utama

Selanjutnya, gaya-gaya dalam yang diperoleh dari hasil analisa struktur diatas, digunakan untuk mendetailkan elemen-elemen struktur. Perencanaan struktur ini meliputi perencanaan penulangan lentur dan perencanaan penulangan geser.

3.10.1 Balok

Balok merupakan komponen struktur yang terkena beban lentur. Tata cara perhitungan penulangan lentur untuk komponen balok dapat dilihat pada diagram alir (Gambar 3.3) dan harus memenuhi ketentuan SRPMM yang tercantum dalam SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.4.1.

3.10.2 Kolom

Detail penulangan kolom akibat beban aksial tekan harus sesuai SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.2. Sedangkan untuk perhitungan tulangan geser harus sesuai dengan SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.5.

3.11 Perencanaan Pondasi

Data yang diperoleh dan yang digunakan dalam merencanakan pondasi adalah data tanah berdasarkan hasil Standard Penetration Test (SPT) yang terdiri dari 2 titik. Daya dukung pada pondasi tiang pancang ditentukan oleh dua hal, yaitu daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang pondasi (Q_p) dan daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah (Q_s). Daya dukung total dari tanah menurut Luciano Decort dapat dirumuskan :

$$Q_L = Q_P + Q_S$$

Jumlah tiang pancang yang diperlukan (n)

$$n = \frac{\Sigma Pu}{P_{ijin}}$$

$$S \geq \frac{1,57(D) \min - 2D}{m + n - 2}$$

$$\text{Efisiensi tiang } (\eta) = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \times m \times n}$$

$$\text{Dimana, } \theta = \arctan \left(\frac{D}{S} \right)$$

$$P_{maks} = \frac{\Sigma Pu}{n} + \frac{M_y \times X_{\max}}{\Sigma x^2} + \frac{M_x \times Y_{\max}}{\Sigma y^2}$$

$$P_{ult} = \text{Efisiensi tiang} \times P_u \text{ 1 tiang berdiri}$$

Kontrol Kekuatan Tiang

$$P_{ult} \geq P_{\text{perlu}}$$

$$P_{\text{perlu}} = P_{\text{maks}}$$

Kontrol Geser Ponds Pada Poer

Dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal harus lebih besar dari geser ponds yang terjadi. Kuat geser yang disumbangkan beton diambil terkecil dari :

- $V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \frac{\sqrt{f'_c} b_o d}{6}$

SNI 03-2847-2002 pasal 13.12.2(1(a))

$$\bullet V_c = \left(\frac{\alpha_s d}{bo} \right) \frac{\sqrt{f_c'} bod}{6}$$

SNI 03-2847-2002 pasal 13.12.2(1(b))

$$\bullet V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} bod$$

SNI 03-2847-2002 pasal 13.12.2(1(c))

Dimana :

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada kolom

bo = keliling pada penampang kritis pada poer
 $= 2(b_{kolom} + d) + 2(h_{kolom} + d)$

α_s = 30, untuk kolom tepi
= 40, untuk kolom tengah
= 20, untuk kolom pojok

$\Phi V_c > P_u$OK (Ketebalan dan ukuran poer memenuhi syarat terhadap geser)

3.12 Perencanaan Sambungan

Dalam perencanaan sambungan pracetak, gaya – gaya disalurkan dengan cara menggunakan sambungan grouting, kunci geser, sambungan mekanis, sambungan baja tulangan, pelapisan dengan beton bertulang cor setempat, atau kombinasi cara – cara tersebut.

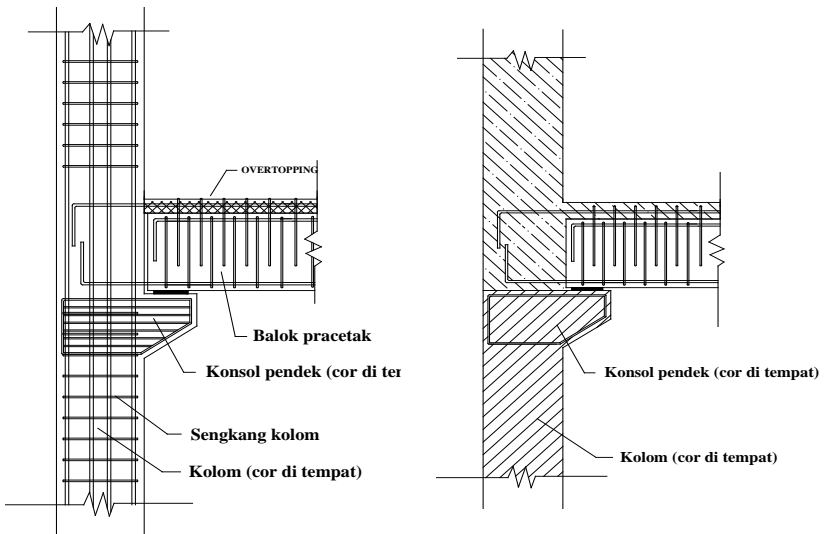
Sambungan yang dipakai di tugas akhir nanti adalah sambungan cor di tempat atau disebut sambungan basah (*Wet Connection*). Sambungan ini diletakkan di pertemuan balok pracetak dengan kolom *cast in site*. Sambungan juga diletakkan di pertemuan balok pracetak dengan pelat pracetak. Letak sambungan tidak boleh di daerah momen maksimum.

3.12.1 Sambungan Balok Kolom

Sambungan antara balok induk pracetak dan kolom (cor di tempat) menggunakan bantuan konsol pendek. Konsol pendek digunakan sebagai tumpuan atau dudukan balok induk pracetak. Mula-mula dilakukan pengecoran kolom dan konsol pendek hingga mengering. Setelah itu, balok pracetak diletakkan diatas konsol pendek sesuai dengan posisi yang direncanakan. Jika balok telah menempati posisinya, langkah selanjutnya adalah melakukan pengecoran *overtopping* dan pengecoran kolom secara bersamaan. Untuk melihat hasil dari sambungan ini, bisa dilihat Gambar 3.4.

Namun, pada saat balok diletakkan pada konsol pendek, sengkang kolom hendaknya tidak dipasang terlebih dahulu. Hal ini bertujuan agar tulangan pada balok pracetak bisa dengan mudah masuk ke daerah kolom tanpa harus bertabrakan dengan sengkang kolom. Jika balok sudah terpasang pada posisinya, baru dapat dipasang sengkang kolom.

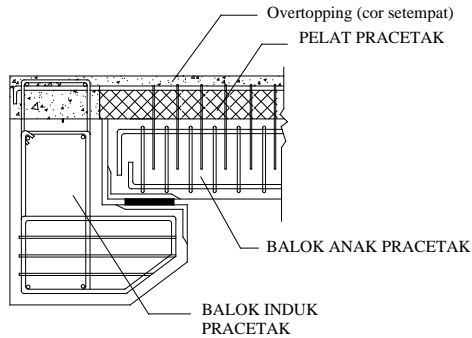
Perencanaan konsol berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 13.9 mengenai ketentuan khusus untuk konsol pendek.



Gambar 3.2 Sambungan antara kolom dengan balok induk.

3.12.2. Sambungan antara Balok Induk dan Balok Anak

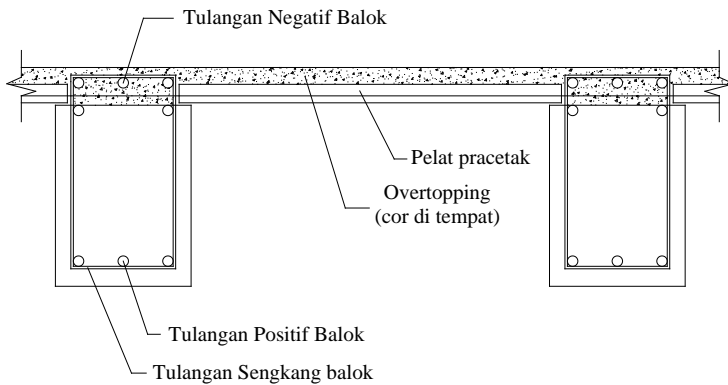
Sambungan antara balok induk dan balok anak juga menggunakan konsol pendek. Dalam hal ini, fungsi dari konsol pendek hampir sama seperti pada sambungan antara kolom dengan balok, yaitu sebagaiudukan atau tumpuan balok anak. Sedangkan detail sambungan ini adalah seperti yang ada pada gambar 3.5.



Gambar 3.3 Sambungan antara balok induk dengan balok anak

3.12.3 Sambungan Hollow Core dengan Balok Induk

Pada prinsipnya, sambungan balok induk pracetak dengan pelat pracetak hampir sama dengan sambungan kolom dan balok pracetak, yaitu sama-sama diberi overtopping. Namun, pada sambungan ini, tidak perlu ditambahkan konsol pada balok induk untuk menyangga pelat. Detail sambungan ini adalah seperti yang dapat dilihat di gambar 3.6.



Gambar 3.4 Sambungan antara balok dengan pelat

3.13 Tinjauan Elemen Pracetak

Hal yang perlu diperhatikan dalam penanganan produk pracetak adalah pada saat proses pengangkatan dan penyimpanan. Pengangkatan pelat seperti yang bisa dilihat pada gambar 3.7 dan balok bisa dilihat pada gambar 3.8. Untuk menjamin agar produk pracetak tidak mengalami kerusakan / keretakan, maka kita harus memperhatikan hal-hal yang telah tertera pada *PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete Chapter 5*. Adapun beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam memperlakukan elemen beton pracetak adalah :

1. Titik Angkat dan Sokongan untuk pelat pracetak, menurut *PCI Design Handbook 6th Edition*

w = beban per unit luas

(a) Dua titik angkat

Maksimum Momen :

$$+M_x = -M_x = 0.0107 w a^2 b$$

$$+M_y = -M_y = 0.0107 w a b^2$$

m_x ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dan $15t$ atau $b/2$

M_y ditahan oleh penampang dengan lebar $a/2$

(b) Empat titik angkat

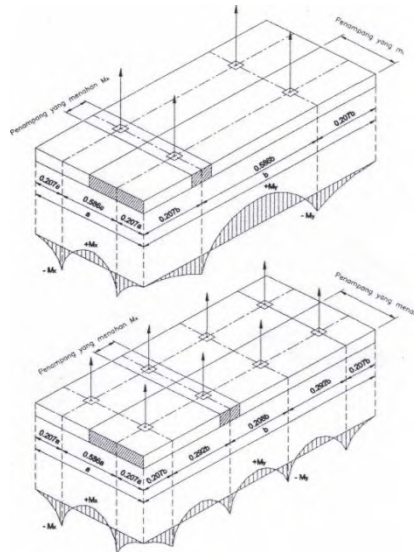
Maksimum Momen (pendekatan) :

$$+M_x = -M_x = 0.0054 w a^2 b$$

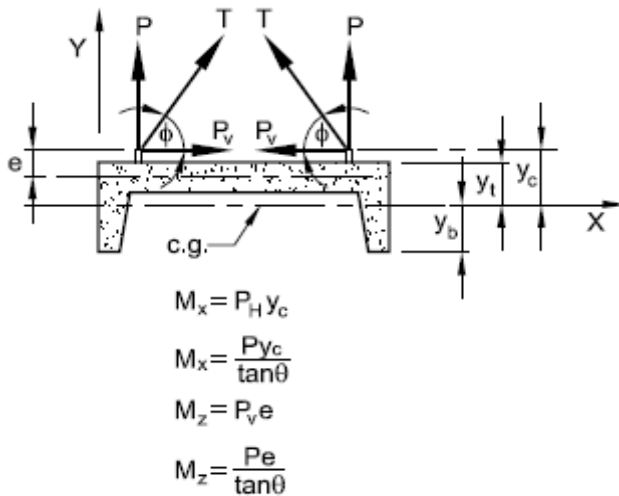
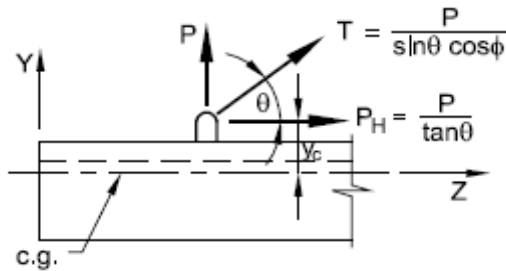
$$+M_y = -M_y = 0.0027 w a b^2$$

m_x ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dari $15t$ atau $b/4$ M_y ditahan oleh penampang dengan lebar $a/2$

1. Titik angkat dan sokongan untuk balok pracetak



Gambar 3.5. Titik angkat dan sokongan sementara untuk pelat pracetak



Gambar 3.6. Perhitungan momen yang diakibatkan pengangkatan eksentris (sebelah kiri) dan pengangkatan dengan dua poin pengangkatan

Setiap titik angkat yang berbeda, akan menghasilkan momen yang berbeda pula sehingga

nantinya dapat dipilih titik angkat yang seperti apa yang akan digunakan pada saat pengangkatan elemen pracetak.

2. Geser Horisontal

- Pada pelat lantai dan balok pracetak, gaya geser yang terjadi:

$$V_{vh} = T = C = A_s f_y$$

- Kuat geser horisontal menurut SNI 03-2847-2002, pasal 19.5 :

$$\phi \times V_{nhc} = \phi \times 0,6 \times b_v \times l_{vh}$$

- Menurut SNI 03-2847-2002, pasal 13.7.4. tulangan geser horisontal perlu :

$$A_{vh} = \frac{V_n}{f_y \times \mu}$$

3.14 Gambar Teknik

Kemudian, hasil dari analisa struktur diatas divisualisasikan dalam gambar teknik. Dalam penggambaran ini menggunakan program AutoCAD.

”Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB IV

PRELIMINARY DESIGN

4.1 Preliminary Desain

Di dalam suatu perencanaan gedung, kita harus melakukan preliminary design terlebih dahulu. Preliminary design adalah suatu tahapan perhitungan dimana kita merencanakan dimensi awal dari suatu elemen struktur.

4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok

Balok yang digunakan adalah *Rectangular beam*, yaitu balok pracetak berpenampang persegi yang kemudian akan dicor setempat sehingga membentuk suatu aksi komposit. Perencanaan balok dilakukan dalam dua tahap :

Tahap 1 : balok pracetak dibuat dulu di tempat lain (pabrik)

Tahap 2 : dilakukan pengecoran di atas balok pracetak (*over topping*), setelah sebelumnya dipasang terlebih dahulu pelat pracetak.

Penentuan tinggi balok minimum (h_{\min}) dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2002 Tabel 8 untuk $f_y = 400$ Mpa, untuk tidak memperhitungkan lendutan:

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times Lb$$

Sedangkan untuk lebarnya :

$$b = \frac{2}{3} h$$

Dimana :

b = lebar balok

h = tinggi balok
 L = panjang kotor balok
 f_y = mutu tulangan baja

Tabel 4.1. Dimensi balok dan panjang

Nama balok	Lokasi	b (mm)	h (mm)	Tipe Balok	Ln (m)
B1	Tumpuan	400	700	Inverted-T	8
	Lapangan	400	700	Inverted-T	8
B2	Tumpuan	400	700	Inverted-T	5.5
	Lapangan	400	700	Inverted-T	5.5
B3	Tumpuan	400	700	Rectangular	7
	Lapangan	400	700	Rectangular	7
B4	Tumpuan	400	700	L-beam	8
	Lapangan	400	700	L-beam	8
B5	Tumpuan	400	700	L-beam	5.5
	Lapangan	400	700	L-beam	5.5
B6	Tumpuan	300	500	Rectangular	7
	Lapangan	300	500	Rectangular	7
B7	Tumpuan	400	700	L-beam	5.5
	Lapangan	400	700	L-beam	5.5
B8	Tumpuan	400	700	Inverted-T	3.5
	Lapangan	400	700	Inverted-T	3.5
B9	Tumpuan	300	500	L-beam	2
	Lapangan	300	500	L-beam	2
B10	Tumpuan	400	700	Rectangular	3.5
	Lapangan	400	700	Rectangular	3.5
B11	Tumpuan	400	700	Rectangular	3.5
	Lapangan	400	700	Rectangular	3.5
B12	Tumpuan	400	700	L-beam	3.5
	Lapangan	400	700	L-beam	3.5

4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom

Pada perencanaan, kolom yang mengalami pembebanan paling besar adalah kolom yang lantai dasar. Berdasarkan **RSNI 03-1727-1989 Tabel P3-1** :

Tabel 4.2. Beban mati kolom

Tipe beban	Volume			Beban jenis (kg/mm ²)	Jumlah	Beban total (kg)
	panjang (mm)	lebar (mm)	tinggi (mm)			
Lantai <i>hollow core</i>	7000	6750	1	0.00026	13	159,705
Kolom rencana	500	500	3500	0.0000024	11	23,100
Balok B3	7000	350	600	0.0000024	13	45,864
Balok Inverted T B2	2750	300	450	0.0000024	13	13,900
Balok Inverted T B1	4000	400	700	0.0000024	13	41,933
Plafond	7000	6750	12	0.0000021	13	15,479
Spesi (2cm)	7000	6750	20	0.0000021	13	25,799
Sanitasi	7000	6750	1	0.00002	12	11,340
Aspal (atap, 1 cm)	7000	6750	10	0.0000014	1	662
Plumbing	7000	6750	1	0.00001	12	5,670
Tegel	7000	6750	10	0.0000021	12	11,907
Dinding	21000	120	3500	0.00000025	12	26,460
Total =						381,818

Menurut RSNI 03-1727-1989 Pasal 4.8.2 : Beban hidup dapat direduksi hingga 20 % untuk komponen struktur yang menumpu dua lantai atau lebih. Jadi koefisien reduksi untuk beban hidup adalah 0,8. Jadi total beban untuk beban hidup adalah :

Tabel 4.3. Beban Hidup kolom

Tipe beban	Volume			Beban jenis (kg/mm ²)	Jumlah	Beban total (kg)
	panjang (mm)	lebar (mm)	tinggi (mm)			
Beban atap	7000	6750	1	0.00012	1	5,670
Beban lantai	7000	6750	1	0.00025	12	141,750
Total 80% beban hidup =						117,936

$$L_L = 0,8 \times 94800 \text{ kg} = 75480 \text{ kg}$$

$$\text{Jadi berat total} = W = 1,2 D_L + 1,6 L_L$$

$$W = 1,2 (213030) + 1,6 (75480)$$

$$= 376404 \text{ kg}$$

Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 11.3.2.2 untuk komponen struktur dengan tulangan spiral maupun sengkang ikat, maka $\phi = 0,65$. Setelah itu dapat diperkirakan luas dimensi kolom adalah sebagai berikut :
Mutu Beton = 40 MPa = 400 kg/cm² (1 Mpa = 10 kg/cm²)

Rencana Awal :

$$A = \frac{W}{\phi \times f'_c} = \frac{376404}{0,65 \times 400} = 1447,70 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dimensi Awal : } b^2 = 1447,70 \text{ cm}^2$$

$$b = 38,05 \text{ cm} \rightarrow \text{diambil } 50 \text{ cm}$$

Jadi dimensi kolom lantai 1-10 digunakan 50 × 80 cm.

4.2 Kontrol Kapasitas Crane

Elemen struktur pracetak

- Balok :
 1. Balok induk 40 / 70 (terpanjang 8 m)
$$W = 0,40 \times (0,7 - 0,20) \times 8,0 \times 2400$$
$$= 2688 \text{ kg}$$
- Pelat :

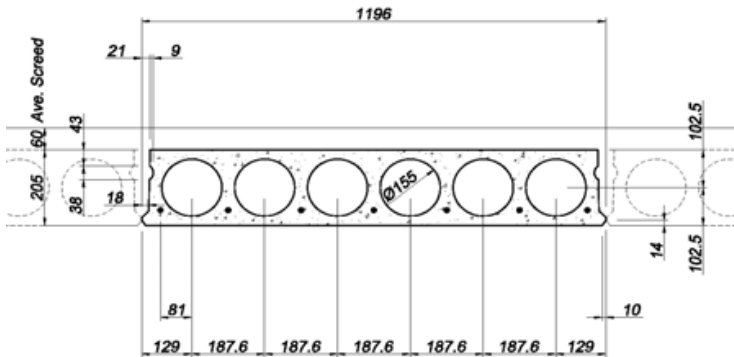
Ukuran Pelat 1,2 x 8 m ($t = 260 \text{ kg/ m}^2$)

$$W = 1,2 \times 8 \times 260 \text{ kg/ m}^2$$
$$= 2496 \text{ kg}$$

Kapasitas POTAIN MCT 88 dapat digunakan dengan jarak jangkauan maksimum 25 m dengan beban maksimum 3 ton, sehingga dapat digunakan dalam proses pembangunan ini.

4.3 Perencanaan Dimensi Pelat

Pelat direncanakan menggunakan hollow core. Pelat hollow core yang direncanakan untuk dipakai memiliki spesifikasi sebagai berikut:



Gambar 4.1. *Cross section* hollow core dengan ketebalan 220 mm

Slab Code	: F205.6
Design Width	: 1200 mm
Mutu Tulangan	: 270 ksi
Diameter	: 12,67 mm
Number of Top Strands	: 0 - 5
Number of Bottom Strands	: 4 - 7
Concrete Grade	: 55 MPa
Cover to Strand	: 35 mm
Fire Rating	: 1½-3 hrs
Cross Sectional Area	: $124.5 \times 10^3 \text{ m}^2$
Self Weight	: 260 kg/ m^2
Self Weight (incl. Screed)	: 426 kg/ m^2

BAB V

PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

5.1. Perencanaan Celat Hollow Core

5.1.1. Introduksi

Hollow core adalah sistem pelat pracetak pratekan yang menekankan efisiensi pada pengurangan berat sendiri pelat dan pemberian tegangan tarik di daerah tekan pelat. Penekanan lain adalah hollow core memiliki spesifikasi mutu yang lebih terjaga dari penggunaan beton *cast-in-situ*, hal ini merupakan kelebihan dari hollow core yang dibuat di pabrik. Pelat hollow core adalah sangat kuat bila di pasang sesuai dengan desainnya (yaitu pada ujung-ujung sisi panjangnya karena hollow core adalah pelat satu arah).

5.1.2. Pembuatan Hollow Core

Tahapan pembuatan hollow core bisa dibagi menjadi beberapa tahap yaitu:

- 1) Membersihkan dan peminyakan *casting-bed* (pencetakan).

Tahapan ini adalah persiapan awal yang berguna untuk membersihkan bekisting hollow core. Jika bekisting tidak bersih maka ditakutkan akan adanya

barang-barang yang tidak diinginkan tertanam pada bagian bawah hollow core (sehingga mengurangi mutu pelat) sehingga bagian bawah hollow core menjadi mulus dan juga agar minyak bisa tersebar rata di permukaan bekisting. Adapun peminyakan manfaatnya adalah memudahkan saat proses pengangkatan pelat.



Gambar 5.1. Alat pembersih bekisting dan penyemprot minyak, produk spiroll dari Inggris

2) Pemposisian strand dan penarikannya.

Pemposisian strand yang sesuai dengan *shop drawing*.

Dan penarikannya dengan dengan mesin penarik.



Gambar 5.2. Memposisikan dan mengangkur strand

3) Pemberian tegangan tarik pada tulangan.

Setelah strand selesai di-set pada kasur bekisting, yaitu dengan salah satu ujung strand diangkurkan ujung lainnya pada mesin pemberi prategangan. Maka proses pemberian tegangan bisa dimulai.



Gambar 5.3. Alat tarik/ pemberi tegangan pada strand.

4) Mix beton.

Proses ini dilakukan bersamaan atau sebelum proses pembersihan kasur bekisting. Hal ini supaya saat proses pemberian tegangan pada strand selesai beton sudah siap di tuang ke cetakan.

5) Men-setting *extruder* di-atas kasur bekisting dan membuat pelat hollow core dengannya.

Sebelum *extruder* dioperasikan, batch beton ditempatkan pada *extruder* sehingga *extruder* bekerja dengan suplai beton terus-menerus. *Extruder* adalah alat yang mengecor beton pada kasur bekisting

sehingga beton. Alat ini mencetak pelat dan menggetarkan beton sehingga saat keluar dari beton sudah kuat untuk menopang bentuknya sendiri dan tidak berdeformasi. Beton yang keluar dari mesin (*universalextruder* buatan spiroll dari Inggris, seperti akan diperlihatkan digambar 5.4.) ini sangat bagus keluar dari mesin bisa dinaiki manusia tanpa berubah bentuk dan proses *curing* bisa dilakukan setelah 7-8 jam. sehingga begitu



Gambar 5.4. *Universal Extruder* buatan Spiroll dari Inggris

6) Menggambar bukaan dengan plotter (bila perlu).

Semua bukaan yang direncanakan akan dibuat pada pelat ditandai dengan Plotter. Juga lokasi dimana

pelat dipotong atau dibelah, identifikasi pelat yang digunakan dan sisa-sisa pelat ditandai dengan *Plotter*. Data pelat yang dibutuhkan untuk proses ini dimasukkan sebelum proses.



Gambar 5.5. *Plotter*

7) Membuat bukaan.

Membuat lubang dapat dengan mudah dilakukan saat usia beton masih muda. Lubang bisa dibuat dengan mesin atau manual.

8) Curing.

Saat proses pembuatan lubang selesai, pelat diselimuti dengan terpal yang basah untuk mengurangi penguapan.

9) Pemotongan pelat.

Setelah *curing*, tegangan pada strand pelat dilepas dan pelat dipotong berdasarkan pada tanda yang telah diukur. Proses pemotongan dilakukan dengan mesin yang memiliki gergaji berujung berlian, lihat gambar 5.6.



Gambar 5.6. mesin gergaji pelat EL1300A

10) Pengangkatan pelat, pembuatan lubang drainase

Setelah dipotong, pelat diangkat dari kasur bekisting dengan crane yang memiliki *clamps* (penjepit), lihat gambar 5.7. Pelat lalu di pindahkan menuju alat otomatis yang mengebor lubang drainase pada kedua ujung pelat.



Gambar 5.7. Crane pengangkat pelat hollow core.

11) Penyimpanan di gudang penyimpanan.

Pelat kemudian ditumpuk gerbong pengangkutan (lihat gambar 5.8.) dan menerima kontrol kualitas. Jika ia lulus maka pada lubang pelat hollow core akan diberi tutup dan dilakukan penomeran pelat.



Gambar 5.8. Gerbong pengangkutan pelat hollow core.

Lalu dengan crane gantung pelat disimpan di gudang.
Lihat gambar 5.9.



Gambar 5.9. Crane gantung untuk menata pelat di tempat penyimpanan.

12) Transportasi ke lokasi.

Transport barang ke lokasi menggunakan truk dengan memindahkan pelat ke atas truk memakai crane gantung.

5.1.3. Penanganan hollow core di lapangan.

Adalah hal yang sangat penting bagi operator dilapangan untuk mengetahui prosedur yang benar dalam menangani hollow core yang akan disebutkan disini untuk menghindari kerusakan dan kecelakaan karena salah penanganan.

A. Penumpukan. Jika ternyata penumpukan pelat hollow core dilapangan sangat dibutuhkan, prosedur berikut sangat esensial.

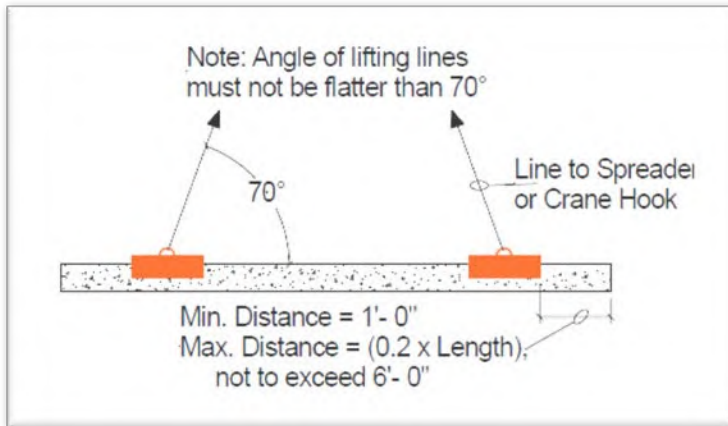
- Tempat/bantalan penumpukan harus lebih panjang dari panjang hollow core dan lebih lebar darilebar hollow core. Dan harus landai dan paralel dengan pelat hollow core untuk menghindari adanya kerusakan akibat puntir.
- Tempat/bantalan penumpukan harus lebar sehingga berat terbagi pada tanah dengan luas

yang cukup sehingga ia tidak tenggelam ke tanah karena berat tumpukan pelat dan cukup tinggi sehingga tidak terjadi “High centering”.

- Tumpukan hollow core setidaknya berjarak ± 60 cm dengan tumpukan lainnya.
- Saat beberapa pelat ditumpuk menjadi 1 tumpukan, antara pelat diberi 2 buah penyekat yang diletakkan dan harus lebih panjang dari lebar pelat. Pelat juga harus ditumpuk vertikal.
- Jangan tumpuk pelat melebihi 8 tumpukan dan hal ini hanya jika tanahnya kuat.
- Jangan tumpuk lebih dari 1 pelat diatas pelat yang sebelumnya telah diereksi pada struktur.

B. Pengangkatan, pemosisian alat pengangkat di sepanjang pelat.

- Adalah sangat penting untuk mengangkat pelat hollow core di dekat ujungnya sebagaimana gambar 5.10.



Gambar 5.10. Petunjuk pemosisian clamp.

Mengangkat pelat terlalu jauh dari ujung bisa menghasilkan ke-pecahan atau keretakan yang segera/mendadak.

- Dari ujung pelat, ujung dari *clamp*/penjepit minimum adalah 30,5 cm dan maksimumnya adalah 0,2 panjang pelat atau 180 cm.
- *Clamp*/penjepit yang didesain untuk pelat dengan luas 1,2m (pelat hollow core umumnya luasnya 1,2m) tidak boleh digunakan untuk pelat yang lebarnya kurang dari 1,2m. Hal ini bisa menyebabkan pelat jauh.

- Saat memasang *clamp* ke pelat, untuk pastikan *clamp*/jepit sejajar dan benjolan pada jepitan menjepit kunci geser.
- Pasang tali pengaman. Lihat gambar 5.11.



Gambar 5.11. Tali pengaman pada saat penjepitan

- Karena penjepitan memberikan tekanan yang cukup kuat, maka diusahakan penjepitan tidak sejajar dengan lubang. Sebagaimana ditampakkan pada gambar 5.12.

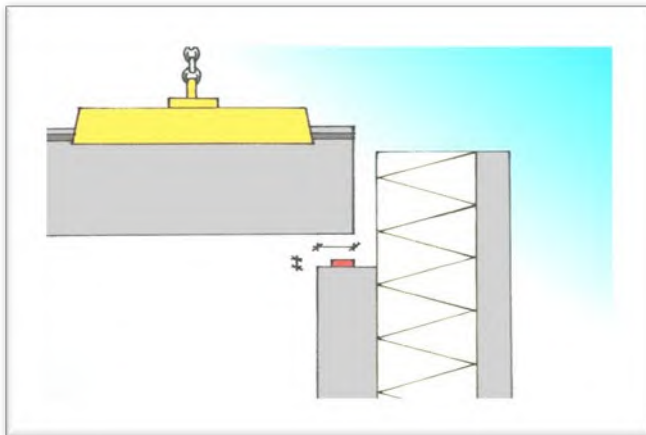
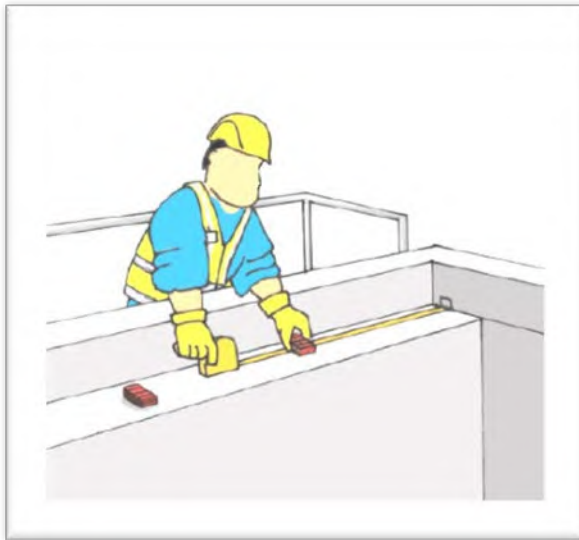


Gambar 5.12. Hindari lubang pada pelat

- Untuk pelat dengan lebar kurang dari 1,2 m, cukup menggunakan

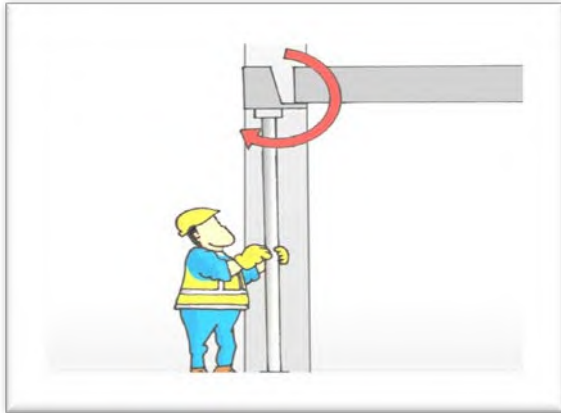
C. Pemasangan hollow core

- Merencanakan urutan pemasangan pemasangan.
- Perhitungkan lalu tandai lokasi pelat-pelat dan pasanglah tumpuan pada tempatnya (bila dibutuhkan tumpuan). Lebih detailnya perhatikan gambar 5.13.



Gambar 5.13. Penempatan *load bearer*

- Untuk menjaga puntir pada balok yang rawan, maka diberikan penyangga yang dilepas saat pelat dan balik sudah monolit (gambar 5.14).



Gambar 5.14. Penyangga bagi balok yang rawan puntir

- Jika dibutuhkan, pasang tali pada slab untuk membantu menempatkan slab pada posisi.
- Jangan lepaskan tali pengaman hingga pelat berada $< 100\text{mm}$ di atas penumpu.
- Periksa dan bersihkan kotoran, air hujan, salju dari sambungan, lihat gambar 5.15.



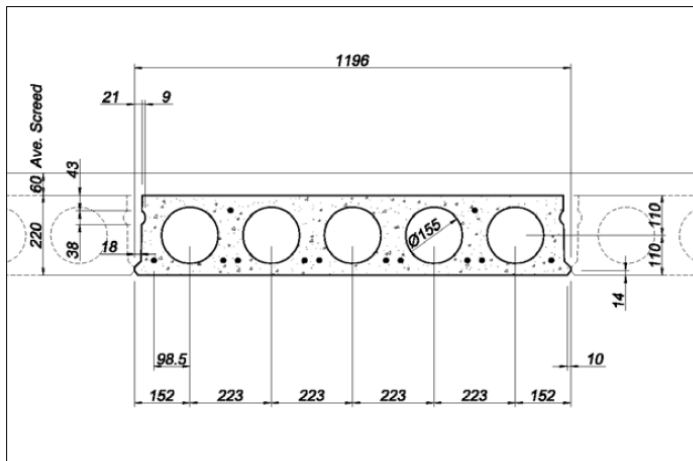
Gambar 5.15. Pembersihan sambungan

- Lakukan grouting antar pelat laluratakan dengan hati-hati.

5.2. Desain pelat Hollow Core.

Desain pelat hollow core ini menggunakan acuan utama dari *PCI Design Handbook* dan ditambah dengan bantuan acuan-acuan lainnya. Pelat yang akan didesain adalah pelat S2 dengan data yang ditampilkan dibawah dan gambar 5.16. memperlihatkan gambar *cross section* dari hollow core yang direncanakan. Pelat lain di tabelkan pada tabel 5.1.

Data pelat hollow core:



Gambar 5.16. *cross section* pelat hollow core tebal 220 mm

Data:

- Diameter strand = 12.7 mm
- Mutu baja strand = 1860.04 MPa
- Jumlah strand = 8 buah
- Mutu beton hollow core = 50 MPa
- Mutu topping = 30 MPa
- Cover = 35 mm
- Tinggi pelat = 220 mm
- Jumlah *core* = 5 buah
- Diameter *core* = 155 mm
- Berat jenis = 336 kg/m²
- Lebar pelat = 1196 mm
- Panjang pelat = 7000 mm
- Gaya prategang = 1200 MPa

Tabel 5.1 Data pelat

No.	Nama Pelat	Lebar hollow (mm)	Panjang pelat (m)	lebar pelat (m)	Jumlah pelat hollow	Jumlah core
1	S1	1200	3,5	5,1	3	5
2	S1	750	3,5	5,1	2	3
3	S2	1200	7	7,6	5	5
4	S2	800	7	7,6	2	4
5	S3	800	7	0,8	1	3
6	S4	583	2,45	0,583	1	2
7	S5	1200	1,2	2,621	1	5
8	S5	710,5	1,2	2,621	2	3
9	S6	919	2,349	1,835	1	5
10	S6	916	2,349	1,835	1	2
11	S7	750	7	2,594	2	5
12	S7	1094	7	2,594	1	4
13	S8	1200	2,4	5,1	3	5
14	S8	750	2,4	5,1	2	3
15	S9	1200	3,5	7,6	5	5
16	S9	800	3,5	7,6	2	3
17	S10	1200	2,4	7,6	5	5
18	S10	800	2,4	7,6	2	3
19	S11	1200	2,349	2,621	1	5
20	S11	710,5	2,349	2,621	2	3
21	S12	1200	7	3,15	1	5
22	S12	800	7	3,15	1	3
23	S12	1150	7	3,15	1	4
24	S13	1200	3,5	3,15	1	5
25	S13	800	3,5	3,15	1	3
26	S13	1150	3,5	3,15	1	4
27	S14	1200	2,4	3,15	1	5
28	S14	800	2,4	3,15	1	3
29	S14	1150	2,4	3,15	1	4
30	S15	1200	3,5	4,331	3	5
31	S15	731	3,5	4,331	1	3
32	S16	1200	7	2,869	1	5
33	S16	750	7	2,869	1	3
34	S16	919	7	2,869	1	4
35	S17	1200	7	5,1	3	5
36	S17	750	7	5,1	2	3

Pembebanan:

➤ Beban Mati (DL)

Beban sendiri $= 336 \text{ kg/m}^2$

Superimposed dead load $= 800 \text{ kg/m}^2$

➤ Beban Hidup (LL)

Beban hidup $= 250 \text{ kg/m}^2$

5.2.1. Kehilangan pratekanan.

Perhitungan kehilangan pratekanan mempengaruhi perilaku beban *service*. Ketepatan dari semua metode perhitungan sangat dipengaruhi oleh presisi mutu beton dan material pratekanan begitu juga faktor eksternal seperti faktor kelembaban. Kehilangan pratekanan memiliki efek yang tidak signifikan pada kekuatan *ultimate* member pelat pracetak.

Kehilangan pratekanan dibutuhkan untuk memprediksi lendutan (penonjolan permukaan pelat) dan untuk tekanan beban *service*. Hal ini karena kesuksesan sebuah proyek pracetak diketahui pada performa *service load* lebih dari kekuatan *ultimate*. Hal ini mewajibkan semua produsen pracetak untuk menggunakan perhitungan kehilangan (pratekanan) yang merupakan cara terbaik memprediksi perilaku produk sebagaimana produksinya.

1. Pemendekan elastis

$$ES = K_{es} \frac{E_s}{E_{ci}} f_{cir}$$

$K_{es} = 1$ untuk pratarik

$$f_{cir} = K_{cir} \left(\frac{P_i}{A} + \frac{P_i e^2}{I} \right) - \frac{M_g e}{I}$$

$K_{cir} = 0,9$ untuk pratarik

P_i = pratekanan inisial sesaat setelah kehilangan dudukan.

e = jarak dari garis netral ke centroid (pusat) tulangan pratekanan.

E_{ci} = Modulus elastisitas beton sesaat setelah kehilangan dudukan.

f_{cir} = tekanan kompresi bersih di centroid tulangan pratekan sesaat setelah kehilangan dudukan.

M_g = momen karena beban sendiri dg tidak difaktorkan

A_{ps} = luas area tulangan pratekanan.

E_c = modulus elastisitas beton

E_s = modulus elastisitas besi tulangan, (200000 Mpa)

$$f_{pu} = 1200 \text{ MPa} = 122.45 \text{ kg/mm}^2$$

$$A_{ps} = \pi \times 0.25 \times 12.7^2 = 126.68 \text{ mm}^2$$

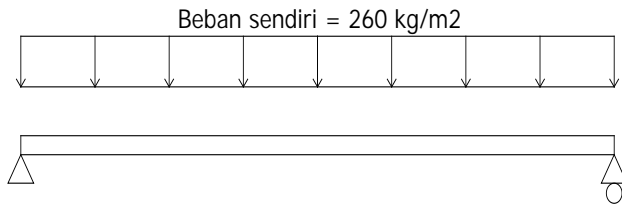
$$A_{ps} \times f_{pu} = 126,67 \text{ mm}^2 \times 122.45 \text{ kg/mm}^2 \\ = 15,511.80 \text{ kg / strand}$$

$$\ell = 7 \text{ m}$$

Superimposed dead load, (beban mati selain beban sendiri) =

Tekanan inisial = 70% f_{pu}

$$\begin{aligned} P_i &= 0,7 \times \text{jumlah strand} \times (A_{ps} \times f_{pu}) \\ &= 0,7 \times 8 \times 15,511.80 = 86,864.14 \text{ kg} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} M_g &= \frac{1}{8} q l^2 = \frac{1}{8} \times 336 \text{ kg/m}^2 \times 7^2 \times 1,2 \\ &= 2,461.37 \text{ kgm} = 2,461,368 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 - 6 \times \frac{\pi}{64} \times d^4 \\ &= \frac{1}{12} \times 1196 \times 220^3 - 5 \times \frac{\pi}{64} \times 155^4 \\ &= 919,584,319.12 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$e = 0,5 \times 220 - 35 - 12,7 \times 0,5 = 68,65 \text{ mm}$$

$$f_{cir} = K_{cir} \left(\frac{P_i}{A} + \frac{P_i e^2}{I} \right) - \frac{M_g e}{I}$$

$$\begin{aligned} f_{cir} &= 0,9 \left(\frac{86,864.14}{159,322.70} + \frac{86,864.14 \times 68,65^2}{919,584,319.12} \right) - \frac{2,461,368 \times 68.65}{919,584,319.12} \\ &= 6.93 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{ci} &= 70\% \times 4700 \sqrt{f'c} = 0,7 \times 4700 \sqrt{50} \\ &= 23,263.81 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$E_s = 200,000 \text{ Mpa}$$

$$ES = K_{es} \frac{E_s}{E_{ci}} f_{cir} = 1 \times \frac{200,000}{23,263.81} \times 6.93 = 59.62 \text{ Mpa}$$

Pelat lain ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 5.2.Perhitungan pemendekan elastis

Pelat	Tebal topping (mm)	Jumlah strand	panjang (m)	Tegangan Prategang (MPa)	I (mm ⁴)	Pi (kg)	Fcir (Mpa)	ES (Mpa)
S1	60	6	3,5	1200	919.584.319,55	65.148,10	6,10	52,45
S1	60	4	3,5	1200	576.950.858,39	43.432,07	6,44	55,39
S2	60	8	7	1200	919.584.319,55	86.864,14	6,93	59,62
S2	60	5	7	1200	621.317.525,06	54.290,09	6,03	51,80
S3	60	5	7	1200	621.317.525,06	54.290,09	6,03	51,80
S4	60	3	2,45	1200	457.099.461,15	32.574,05	6,12	52,61
S5	60	6	1,2	1200	919.584.319,55	65.148,10	8,05	69,20
S5	60	3	1,2	1200	541.901.191,73	32.574,05	5,00	42,98
S6	60	4	2,35	1200	698.576.922,30	43.432,07	6,91	59,42
S6	60	4	2,35	1200	695.914.922,30	43.432,07	5,64	48,45
S7	60	4	7	1200	520.284.319,55	43.432,07	7,96	68,43
S7	60	6	7	1200	809.493.588,97	65.148,10	5,44	46,79
S8	60	6	5	1200	919.584.319,55	65.148,10	5,63	48,42
S8	60	4	5	1200	576.950.858,39	43.432,07	5,96	51,27
S9	60	6	3,5	1200	919.584.319,55	65.148,10	6,10	52,45
S9	60	4	3,5	1200	621.317.525,06	43.432,07	5,86	50,36
S10	60	6	2,4	1200	919.584.319,55	65.148,10	6,34	54,50
S10	60	4	2,4	1200	592.984.255,64	43.432,07	6,92	59,51
S11	60	6	2,349	1200	919.584.319,55	65.148,10	6,35	54,58
S11	60	4	2,349	1200	576.950.858,39	43.432,07	6,70	57,57
S12	60	8	7	1200	919.584.319,55	86.864,14	6,93	59,62
S12	60	5	7	1200	621.317.525,06	54.290,09	6,03	51,80
S12	60	6	7	1200	814.817.588,97	65.148,10	5,38	46,27
S13	60	6	3,5	1200	919.584.319,55	65.148,10	6,10	52,45
S13	60	4	3,5	1200	621.317.525,06	43.432,07	5,71	49,13
S13	60	5	3,5	1200	814.817.588,97	54.290,09	5,54	47,64
S14	60	6	2,4	1200	919.584.319,55	65.148,10	6,40	55,03
S14	60	4	2,4	1200	621.317.525,06	43.432,07	6,11	52,51
S14	60	5	2,4	1200	814.817.588,97	54.290,09	5,83	50,11
S15	60	6	3,5	1200	919.584.319,55	65.148,10	6,10	52,45
S15	60	4	3,5	1200	560.091.525,06	43.432,07	6,69	57,55

Pelat	Tebal topping (mm)	Jumlah strand	panjang (m)	Tegangan Prategang (MPa)	I (mm ⁴)	Pi (kg)	Fcir (Mpa)	ES (Mpa)
S16	60	8	7	1200	919.584.319,55	86.864,14	6,93	59,62
S16	60	5	7	1200	576.950.858,39	54.290,09	6,79	58,34
S16	60	6	7	1200	698.576.922,30	65.148,10	6,93	59,60
S17	60	8	7	1200	919.584.319,55	86.864,14	6,93	59,62
S17	60	4	7	1200	576.950.858,39	43.432,07	5,06	43,51

2. Rangkak beton

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{cir} - f_{cde})$$

K_{cr} = 2 untuk anggota beton pratarik berbobot normal.

= 1,6 untuk anggota beton pratarik menggunakan pasir ringan.

$$f_{cde} = \frac{M_{t+si.e}}{I}$$

I = momen inersia (mm⁴)

M_{t+si} = momen topping + momen *superimposed dead load*

Superimposed load:

Beban finishing & dinding = 800 kg/m²

Beban topping = 2100 kg/m² x 60 mm = 126 kg/m²

$$M_{t+si}(\text{N-mm}) = \frac{1}{8} \times 126 \times 8^2 \times 1.2 + \frac{1}{8} \times 800 \times 8^2 \times 1.2$$

$$= 5,860.40 \text{ Kg.m} = 57.431.920 \text{ N-mm}$$

Pusat gravitasi, dari bawah:

$$\begin{aligned}
 Y_{bc} &= \frac{\{A \times Y_b\} + A t \times (d + 0.5 dt)}{A c} \\
 &= \frac{\{159,322.70 \times 100\} + 55,585.06 \times (220 + 0.5 \times 60)}{214,907.76}
 \end{aligned}$$

$$= 197.221 \text{ mm}$$

$$Y_b = 110 \text{ mm}$$

$$b_e = \frac{E_{\text{hollow core}}}{E_{\text{topping}}} \cdot \text{lebar hollow core} = 926.42 \text{ mm}$$

Momen Inersia hollow core+topping:

$$\begin{aligned} I_c &= \{ I + A_x (Y_b - Y_{bc}) \}^2 + \{ b_{et} x (d_t^3) / 12 \} + \{ A_t x (d + 0.5d_t - Y_{bc})^2 \} \\ &= \{ 919,584,319.12 + 159,322.70 x (110 - 197.221)^2 \} + \\ &\quad \{ 926.42 x (60^3) / 12 \} + \{ 55,585.06 x (220 + 0.5 x 60 - 197.221)^2 \} \\ &= 2,303,143,852.14 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cde}(\text{Mpa}) &= \frac{M_{t+si} x e}{I} = \frac{57,431,920 x 68.65}{2,303,143,852.14} \\ &= 3.89 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} = 4700 \sqrt{50} = 33,234.02 \text{ Mpa}$$

$$CR = 2 x \frac{200000}{33,234.02} x (6.93 - 3.89) = 36.68 \text{ Mpa}$$

Tabel 5.3.Perhitungan Creep

Pelat	e (mm)	Ec (Mpa)	I (mm ⁴)	M _{t+si} (N-mm)	f _{cds} (Mpa)	Creep (MPa)
S1	155,8709	33234,02	2.303.143.852,14	14.357.980,00	0,97	61,74
S1	154,0534	33234,02	1.430.952.991,08	8.955.730,00	0,96	65,94
S2	155,8709	33234,02	2.303.143.852,14	57.431.920,00	3,89	36,68
S2	151,3193	33234,02	1.518.592.650,88	38.223.920,00	3,81	26,68
S3	151,3193	33234,02	1.518.592.650,88	38.223.920,00	3,81	26,68
S4	148,1494	33234,02	1.098.491.704,93	3.405.938,55	0,46	68,13
S5	162,8593	33234,02	2.477.536.007,62	6.751.180,80	0,44	91,54
S5	157,7303	33234,02	1.635.400.313,69	4.515.840,00	0,44	54,93
S6	164,20	33234,02	1.455.517.685,61	3.951.360,00	0,45	77,82
S6	164,20	33234,02	1.455.517.686,61	3.951.361,00	0,45	62,47
S7	164,20	33234,02	1.455.517.687,61	3.951.362,00	0,45	90,43
S7	164,20	33234,02	1.455.517.688,61	3.951.363,00	0,45	60,14
S8	164,20	33234,02	1.455.517.689,61	3.951.364,00	0,45	62,43
S8	164,20	33234,02	1.455.517.690,61	3.951.365,00	0,45	66,41
S9	164,20	33234,02	1.455.517.691,61	3.951.366,00	0,45	68,07
S9	164,20	33234,02	1.455.517.692,61	3.951.367,00	0,45	65,14
S10	164,20	33234,02	1.455.517.693,61	3.951.368,00	0,45	70,94
S10	164,20	33234,02	1.455.517.694,61	3.951.369,00	0,45	77,94
S11	155,87	33234,02	2.303.143.852,14	6.467.304,20	0,44	71,14
S11	154,05	33234,02	1.430.952.991,08	4.033.953,96	0,43	75,37
S12	155,87	33234,02	2.303.143.852,14	57.431.920,00	3,89	36,68
S12	151,32	33234,02	1.518.592.650,88	38.223.920,00	3,81	26,68
S12	151,90	33234,02	1.997.751.975,97	50.228.920,00	3,82	18,82
S13	155,87	33234,02	2.303.143.852,14	14.357.980,00	0,97	61,74
S13	162,86	33234,02	2.477.536.007,62	6.751.180,80	0,44	63,44
S13	157,73	33234,02	1.635.400.313,69	4.515.840,00	0,44	61,46
S14	164,20	33234,02	1.455.517.685,61	3.951.360,00	0,45	71,68
S14	164,20	33234,02	1.455.517.686,61	3.951.361,00	0,45	68,15
S14	164,20	33234,02	1.455.517.687,61	3.951.362,00	0,45	64,79
S15	164,20	33234,02	1.455.517.688,61	3.951.363,00	0,45	68,07
S15	164,20	33234,02	1.455.517.689,61	3.951.364,00	0,45	75,21
S16	164,20	33234,02	1.455.517.690,61	3.951.365,00	0,45	78,10
S16	164,20	33234,02	1.455.517.691,61	3.951.366,00	0,45	76,32
S16	164,20	33234,02	1.455.517.692,61	3.951.367,00	0,45	78,08
S17	164,20	33234,02	1.455.517.693,61	3.951.368,00	0,45	78,10
S17	164,20	33234,02	1.455.517.694,61	3.951.369,00	0,45	55,54

3. Penyusutan beton

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} \times K_{sh} \times E_s \times \left(1 - 0,06 \frac{V}{S}\right) \times (100 - RH)$$

K_{sh} = 1 untuk anggota beton pratarik

RH = kelembaban relatif lingkungan

A = luas pelat efektif dengan topping

$$A = 160,248.12 \text{ mm}^2$$

$$V = \frac{A}{25,4^2} = \frac{160,248.12 \text{ mm}^2}{25,4^2} = 248.387 \text{ inch}^2$$

$$S \text{ (keliling hollow core)} = \frac{2(bw+d)}{25,4} = \frac{2(1196+220)}{25,4} = 111,4961 \text{ inch}$$

$$\frac{V}{S} = \frac{\text{luas pelat hollow core}}{\text{keliling hollow core}} = 2.228$$

$$RH = 80\%$$

$$E_s \text{ (modulus elastisitas strand)} = 28500 \text{ Ksi}$$

$$\begin{aligned} SH &= 8,2 \times 10^{-6} \times K_{sh} \times E_s \times \left(1 - 0,06 \frac{V}{S}\right) \times (100 - RH) \\ &= 8,2 \cdot 10^{-6} \times (1) \times 28500 \times (1 - 0,06 \times 2.228) \times (100 - 80) \\ &= 4,12 \text{ Ksi} = 28.416 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Tabel 5.4.Perhitungan *shrinkages*

Pelat	V (inch ²)	S (inch)	RH (%)	ES (Ksi)	K _{sh}	SH (Mpa)
S1	248,387	111,49606	80	29000	1	28,416
S1	158,208	76,062992	80	29000	1	28,707
S2	248,387	111,49606	80	29000	1	28,416
S2	174,363	80	80	29000	1	28,511
S3	174,363	80	80	29000	1	28,511
S4	131,859	62,913386	80	29000	1	28,675
S5	174,844	111,49606	80	29000	1	29,714
S5	174,256	80,314961	80	29000	1	28,530
S6	132,262	72,440945	80	29000	1	29,207
S6	184,234	72,440945	80	29000	1	27,795
S7	102,989	72,440945	80	29000	1	30,002
S7	225,592	72,440945	80	29000	1	26,671
S8	248,387	72,440945	80	29000	1	26,052
S8	158,208	72,440945	80	29000	1	28,502
S9	248,387	72,440945	80	29000	1	26,052
S9	174,363	72,440945	80	29000	1	28,063
S10	248,387	72,440945	80	29000	1	26,052
S10	146,754	72,440945	80	29000	1	28,813
S11	248,387	111,49606	80	29000	1	28,416
S11	158,208	76,062992	80	29000	1	28,707
S12	248,387	111,49606	80	29000	1	28,416
S12	174,363	80	80	29000	1	28,511
S12	227,530	99,685039	80	29000	1	28,308
S13	248,387	111,49606	80	29000	1	28,416
S13	174,363	111,49606	80	29000	1	29,722
S13	227,530	80,314961	80	29000	1	27,225
S14	248,387	72,440945	80	29000	1	26,052
S14	174,363	72,440945	80	29000	1	28,063
S14	227,530	72,440945	80	29000	1	26,619
S15	248,387	72,440945	80	29000	1	26,052
S15	152,069	72,440945	80	29000	1	28,669
S16	248,387	72,440945	80	29000	1	26,052
S16	158,208	72,440945	80	29000	1	28,502
S16	185,204	72,440945	80	29000	1	27,769
S17	248,387	72,440945	80	29000	1	26,052
S17	158,208	72,440945	80	29000	1	28,502

4. Pengendoran tulangan (*steel relaxation*)

$$RE = [K_{re} - J (SH + CR + ES)]C$$

K_{re} , J = faktor yang didapat dari tabel 5.1.

C = faktor yang didapat dari tabel 5.2.

f_{si} = tegangan di tulangan prategang saat inisial

f_{pu} = tegangan tarik tulangan prategang

$$\frac{f_{si}}{f_{pu}} = 0,7$$

Tipe tendon: 270 grade low-relaxation strand

Tabel 5.5. Kemampuan dan tipe tendon/kabel pratarik

Type of tendon	K_{re} psi	J
270 Grade stress-relieved strand or wire	20,000	0.15
250 Grade stress-relieved strand or wire	18,500	0.14
240 or 235 Grade stress-relieved wire	17,600	0.13
270 Grade low-relaxation strand	5000	0.040
250 Grade low-relaxation wire	4630	0.037
240 or 235 Grade low-relaxation wire	4400	0.035
145 or 160 Grade stress-relieved bar	6000	0.05

Tabel 5.6. Nilai koefisien C

f_{si}/f_{pu}	Stress-relieved strand or wire	Stress-relieved bar or low-relaxation strand or wire
0.80		1.28
0.79		1.22
0.78		1.16
0.77		1.11
0.76		1.05
0.75	1.45	1.00
0.74	1.36	0.95
0.73	1.27	0.90
0.72	1.18	0.85
0.71	1.09	0.80
0.70	1.00	0.75
0.69	0.94	0.70
0.68	0.89	0.66
0.67	0.83	0.61
0.66	0.78	0.57
0.65	0.73	0.53
0.64	0.68	0.49
0.63	0.63	0.45
0.62	0.58	0.41
0.61	0.53	0.37
0.60	0.49	0.33

Maka didapat nilai:

$$K_{re} = 5000 \text{ Psi}$$

$$J = 0,04$$

$$C = 0,75$$

$$RE = [K_{re} - J (SH + CR + ES)]C$$

$$RE = [5 \text{ Ksi} - 0,04 \times (4.12 \text{ Ksi} + 5.32 \text{ Ksi} + 8.64 \text{ Ksi})] \times$$

$$0,75$$

$$= 3,403 \text{ Ksi} = 22.11 \text{ Mpa}$$

Tabel 5.7. Perhitungan relaksasi strand

Pelat	Kre	SH (Ksi)	CR (Ksi)	ES (Ksi)	J	C	RE (Mpa)
S1	5	4,12	8,95	7,61	0,04	0,75	21,58
S1	5	4,16	9,56	8,03	0,04	0,75	21,36
S2	5	4,12	5,32	8,64	0,04	0,75	22,11
S2	5	4,13	3,87	7,51	0,04	0,75	22,65
S3	5	4,13	3,87	7,51	0,04	0,75	22,65
S4	5	4,16	9,88	7,63	0,04	0,75	21,37
S5	5	4,31	13,27	10,03	0,04	0,75	20,14
S5	5	4,14	7,96	6,23	0,04	0,75	22,06
S6	5	4,23	11,28	8,62	0,04	0,75	20,86
S6	5	4,03	9,06	7,03	0,04	0,75	21,69
S7	5	4,35	13,11	9,92	0,04	0,75	20,19
S7	5	3,87	8,72	6,78	0,04	0,75	21,85
S8	5	3,78	9,05	7,02	0,04	0,75	21,75
S8	5	4,13	9,63	7,43	0,04	0,75	21,47
S9	5	3,78	9,87	7,61	0,04	0,75	21,46
S9	5	4,07	9,45	7,30	0,04	0,75	21,55
S10	5	3,78	10,29	7,90	0,04	0,75	21,31
S10	5	4,18	11,30	8,63	0,04	0,75	20,87
S11	5	4,12	10,32	7,91	0,04	0,75	21,23
S11	5	4,16	10,93	8,35	0,04	0,75	21,01
S12	5	4,12	5,32	8,64	0,04	0,75	22,11
S12	5	4,13	3,87	7,51	0,04	0,75	22,65
S12	5	4,10	2,73	6,71	0,04	0,75	23,05
S13	5	4,12	8,95	7,61	0,04	0,75	21,58
S13	5	4,31	9,20	7,12	0,04	0,75	21,59
S13	5	3,95	8,91	6,91	0,04	0,75	21,77
S14	5	3,78	10,39	7,98	0,04	0,75	21,27
S14	5	4,07	9,88	7,61	0,04	0,75	21,39
S14	5	3,86	9,39	7,27	0,04	0,75	21,61
S15	5	3,78	9,87	7,61	0,04	0,75	21,46
S15	5	4,16	10,90	8,34	0,04	0,75	21,01
S16	5	3,78	11,32	8,64	0,04	0,75	20,94
S16	5	4,13	11,07	8,46	0,04	0,75	20,96
S16	5	4,03	11,32	8,64	0,04	0,75	20,89
S17	5	3,78	11,32	8,64	0,04	0,75	20,94
S17	5	4,13	8,05	6,31	0,04	0,75	22,03

5. Total kehilangan pratekanan

$$f_{pu} = 1200 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{Prestress loss} &= \frac{ES + CR + SH + RE}{0,7 \times f_{pu}} \times 100\% \\ &= \frac{(59.62 + 36.68 + 28.42 + 22.11)}{0,7 \times 1200} \times 100\% \\ &= 17.48 \% \end{aligned}$$

Tabel 5.8. Perhitungan total kehilangan pratekanan

Pelat	ES (Mpa)	CR (Mpa)	SH (Mpa)	RE (Mpa)	Fpu (Mpa)	Total kehilangan pratekanan (%)
S1	52,45	61,74	28,42	21,58	1200	19,55
S1	55,39	65,94	28,71	21,36	1200	20,40
S2	59,62	36,68	28,42	22,11	1200	17,48
S2	51,80	26,68	28,51	22,65	1200	15,43
S3	51,80	26,68	28,51	22,65	1200	15,43
S4	52,61	68,13	28,68	21,37	1200	20,33
S5	69,20	91,54	29,71	20,14	1200	25,07
S5	42,98	54,93	28,53	22,06	1200	17,68
S6	59,42	77,82	29,21	20,86	1200	22,30
S6	48,45	62,47	27,79	21,69	1200	19,10
S7	68,43	90,43	30,00	20,19	1200	24,89
S7	46,79	60,14	26,67	21,85	1200	18,51
S8	48,42	62,43	26,05	21,75	1200	18,89
S8	51,27	66,41	28,50	21,47	1200	19,96
S9	52,45	68,07	26,05	21,46	1200	20,00
S9	50,36	65,14	28,06	21,55	1200	19,66
S10	54,50	70,94	26,05	21,31	1200	20,57
S10	59,51	77,94	28,81	20,87	1200	22,28
S11	54,58	71,14	28,42	21,23	1200	20,88
S11	57,57	75,37	28,71	21,01	1200	21,74
S12	59,62	36,68	28,42	22,11	1200	17,48
S12	51,80	26,68	28,51	22,65	1200	15,43
S12	46,27	18,82	28,31	23,05	1200	13,86

Pelat	ES (Mpa)	CR (Mpa)	SH (Mpa)	RE (Mpa)	Fpu (Mpa)	Total kehilangan prategangan (%)
S13	52,45	61,74	28,42	21,58	1200	19,55
S13	49,13	63,44	29,72	21,59	1200	19,51
S13	47,64	61,46	27,22	21,77	1200	18,82
S14	55,03	71,68	26,05	21,27	1200	20,72
S14	52,51	68,15	28,06	21,39	1200	20,25
S14	50,11	64,79	26,62	21,61	1200	19,42
S15	52,45	68,07	26,05	21,46	1200	20,00
S15	57,55	75,21	28,67	21,01	1200	21,72
S16	59,62	78,10	26,05	20,94	1200	21,99
S16	58,34	76,32	28,50	20,96	1200	21,92
S16	59,60	78,08	27,77	20,89	1200	22,18
S17	59,62	78,10	26,05	20,94	1200	21,99
S17	43,51	55,54	28,50	22,03	1200	17,81

5.2.2 Kontrol tegangan

Tegangan-tegangan beban layan beton dihitung sebagai tolak ukur performa struktur atau kemampuan layan. Untuk keadaan layan saat defleksi harus dihitung, pengecekan tegangan dilakukan guna menentukan apakah penampang kotor struktur atau penampang struktur retak yang harus digunakan.

Tegangan-tegangan saat layan di-cek dengan asumsi bahwa kehilangan prategangan telah terjadi. Tegangan yang dihitung lalu di-cek dengan tegangan yang diijinkan dalam SNI 2847-2002. Hollow core pada umumnya di desain agar tidak retak saat kondisi beban layan bekerja penuh.

Tegangan saat transfer

Data:

Superimposed dead load	= 800	kg/m ²
Momen inersia	= 919,584,319	mm ⁴
Panjang bentang	= 7	m
Prestress loss	= 17.48 %	

$$\begin{aligned}
e &= 68.65 & \text{mm} \\
f^*c &= 50 & \text{MPa} \\
y_a &= 110 & \text{mm} \\
y_b &= 110 & \text{mm} \\
Z_a = \frac{I}{y_b} &= \frac{919,584,319}{110} &= 8,359,857.45 \text{ mm}^3 \\
Z_b = \frac{I}{y_b} &= \frac{919,584,319}{110} &= 8,359,857.45 \text{ mm}^3 \\
\emptyset \text{ strand} &= 12.7 & \text{mm} \\
A_{ps} = \pi \times 12.7^2 \times 0.25 &= 126.68 & \text{mm}^2 \\
A_{ps} \cdot f_{se} &= 92,161.07 & \text{Kg} \\
f_{pu} = 8 \times 91.84 &= 734.69 & \text{kg/mm}^2 \\
F_n = A_{ps} \cdot f_{pu} = 126.28 \times 612.24 \times (100\% - 16.2\%) \times 0.9 &= 70,051.48 & \text{Kg}
\end{aligned}$$

Dimana:

F_{tts} = tegangan atas saat transfer dibagian tumpuan
 F_{tbs} = tegangan bawah saat transfer dibagian tumpuan
 F_{ttm} = tegangan atas saat transfer dibagian tengah bentang
 F_{tbm} = tegangan bawah saat transfer dibagian tengah bentang

Tegangan di daerah tumpuan:

$$\begin{aligned}
F_{tts} &= \frac{F_t}{A} - \frac{F_t \times e}{Z_a} = -1.33 \text{ N/mm}^2 \\
F_{tbs} &= \frac{F_t}{A} + \frac{F_t \times e}{Z_b} = 4.88 \text{ N/mm}^2
\end{aligned}$$

Tabel 5.9. Tegangan atas di tumpuan dan lapangan saat kondisi transfer

Pelat	I (mm ⁴)	Ms (Kgm)	Y _a (mm)	f _{top} tumpuan (N/mm ²)	f _{top} midspan (N/mm ²)	Syarat	Syarat	Cek
S1	919.584.319,55	615,34	110	-1,28	-0,56	22,50	-3,54	OK
S1	576.950.858,39	395,11	110	-1,41	-0,67	22,50	-3,54	OK
S2	919.584.319,55	2461,37	110	-1,75	1,14	22,50	-3,54	OK
S2	621.317.525,06	1742,13	110	-1,86	1,16	22,50	-3,54	OK
S3	621.317.525,06	1742,13	110	-1,86	1,16	22,50	-3,54	OK
S4	457.099.461,15	161,42	110	-1,54	-1,16	22,50	-3,54	OK
S5	919.584.319,55	42,69	110	0,18	0,23	22,50	-3,54	OK
S5	541.901.191,73	54,36	110	-0,83	-0,72	22,50	-3,54	OK
S6	698.576.922,30	207,19	110	0,16	0,48	22,50	-3,54	OK
S6	695.914.922,30	207,19	110	-0,38	-0,06	22,50	-3,54	OK
S7	520.284.319,55	1025,68	110	0,11	2,23	22,50	-3,54	OK
S7	809.493.588,97	2253,85	110	-0,38	2,62	22,50	-3,54	OK
S8	919.584.319,55	1255,80	110	-0,31	1,17	22,50	-3,54	OK
S8	576.950.858,39	806,34	110	-0,51	0,99	22,50	-3,54	OK
S9	919.584.319,55	615,34	110	-0,31	0,41	22,50	-3,54	OK
S9	621.317.525,06	435,53	110	-0,51	0,25	22,50	-3,54	OK
S10	919.584.319,55	289,34	110	-0,31	0,03	22,50	-3,54	OK
S10	592.984.255,64	172,18	110	-0,33	-0,02	22,50	-3,54	OK
S11	919.584.319,55	277,17	110	-1,26	-0,93	22,50	-3,54	OK
S11	576.950.858,39	177,97	110	-1,39	-1,05	22,50	-3,54	OK
S12	919.584.319,55	2461,37	110	-1,75	1,14	22,50	-3,54	OK
S12	621.317.525,06	1742,13	110	-1,86	1,16	22,50	-3,54	OK
S12	814.817.588,97	2273,26	110	-1,71	1,30	22,50	-3,54	OK
S13	919.584.319,55	615,34	110	-1,28	-0,56	22,50	-3,54	OK
S13	621.317.525,06	568,31	110	-0,79	0,20	22,50	-3,54	OK
S13	814.817.588,97	615,34	110	-0,40	0,41	22,50	-3,54	OK
S14	919.584.319,55	204,79	110	-0,31	-0,07	22,50	-3,54	OK
S14	621.317.525,06	204,79	110	-0,51	-0,15	22,50	-3,54	OK
S14	814.817.588,97	267,22	110	-0,38	-0,03	22,50	-3,54	OK
S15	919.584.319,55	615,34	110	-0,31	0,41	22,50	-3,54	OK
S15	560.091.525,06	379,75	110	-0,51	0,22	22,50	-3,54	OK
S16	919.584.319,55	2461,37	110	-0,31	2,58	22,50	-3,54	OK
S16	576.950.858,39	1580,43	110	-0,51	2,44	22,50	-3,54	OK
S16	698.576.922,30	1849,60	110	-0,38	2,48	22,50	-3,54	OK
S17	919.584.319,55	2461,37	110	-0,31	2,58	22,50	-3,54	OK
S17	576.950.858,39	1580,43	110	-0,51	2,44	22,50	-3,54	OK

Tegangan di daerah tengah bentang:

Berat hollow core = 336 kg/m²

$$M_s = \frac{336 \times 7^2}{8} = 2.461.37 \text{ kgm}$$

$$F_{ttm} = \frac{F_t}{A} - \frac{F_t x e}{Z_a} + \frac{M_s}{Z_a} = 1.56 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{tbm} = \frac{F_t}{A} + \frac{F_t x e}{Z_b} - \frac{M_s}{Z_b} = 2.00 \text{ N/mm}^2$$

Tabel 5.10. Tegangan bawah di tumpuan dan lapangan saat kondisi transfer

Pelat	Ms (Kgm)	I (mm ⁴)	e (mm)	Aps.fse (kg)	A pelat (mm ²)	f _{bottom} tumpuan (N/mm ²)	Syarat	Cek
S1	615,34	919.584.320	68,65	67.389,99	159.322,70	4,70	-3,54	OK
S1	395,11	576.950.858	68,65	44.447,55	101.491,73	4,87	-3,54	OK
S2	2.461,37	919.584.320	68,65	92.161,07	159.322,70	6,43	-3,54	OK
S2	1.742,13	621.317.525	68,65	59.028,50	111.875,73	5,89	-3,54	OK
S3	1.742,13	621.317.525	68,65	59.028,50	111.875,73	5,89	-3,54	OK
S4	161,42	457.099.461	68,65	33.365,70	84.621,69	4,42	-3,54	OK
S5	42,69	919.584.320	68,65	25.065,49	111.875,73	2,40	-3,54	OK
S5	54,36	541.901.192	68,65	16.874,20	111.875,73	1,71	-3,54	OK
S6	207,19	698.576.922	68,65	16.171,15	84.621,69	2,05	-3,54	OK
S6	207,19	695.914.922	68,65	16.171,15	118.154,10	1,52	-3,54	OK
S7	1.025,68	520.284.320	68,65	16.171,15	65.866,70	2,64	-3,54	OK
S7	2.253,85	809.493.589	68,65	16.171,15	144.737,14	1,25	-3,54	OK
S8	1.255,80	919.584.320	68,65	16.171,15	159.322,70	1,13	-3,54	OK
S8	806,34	576.950.858	68,65	16.171,15	101.491,73	1,77	-3,54	OK
S9	615,34	919.584.320	68,65	16.171,15	159.322,70	1,13	-3,54	OK
S9	435,53	621.317.525	68,65	16.171,15	111.875,73	1,61	-3,54	OK
S10	289,34	919.584.320	68,65	16.171,15	159.322,70	1,13	-3,54	OK
S10	172,18	592.984.256	68,65	16.171,15	94.063,22	1,89	-3,54	OK
S11	277,17	919.584.320	68,65	66.274,53	159.322,70	4,62	-3,54	OK
S11	177,97	576.950.858	68,65	43.699,43	101.491,73	4,79	-3,54	OK
S12	2.461,37	919.584.320	68,65	92.161,07	159.322,70	6,43	-3,54	OK
S12	1.742,13	621.317.525	68,65	59.028,50	111.875,73	5,89	-3,54	OK
S12	2.273,26	814.817.589	68,65	72.149,52	145.983,22	5,51	-3,54	OK
S13	615,34	919.584.320	68,65	67.389,99	159.322,70	4,70	-3,54	OK
S13	568,31	621.317.525	68,65	25.065,49	111.875,73	2,50	-3,54	OK
S13	615,34	814.817.589	68,65	16.874,20	145.983,22	1,29	-3,54	OK
S14	204,79	919.584.320	68,65	16.171,15	159.322,70	1,13	-3,54	OK
S14	204,79	621.317.525	68,65	16.171,15	111.875,73	1,61	-3,54	OK
S14	267,22	814.817.589	68,65	16.171,15	145.983,22	1,24	-3,54	OK
S15	615,34	919.584.320	68,65	16.171,15	159.322,70	1,13	-3,54	OK
S15	379,75	560.091.525	68,65	16.171,15	97.545,81	1,84	-3,54	OK
S16	2.461,37	919.584.320	68,65	16.171,15	159.322,70	1,13	-3,54	OK
S16	1.580,43	576.950.858	68,65	16.171,15	101.491,73	1,77	-3,54	OK
S16	1.849,60	698.576.922	68,65	16.171,15	118.777,14	1,51	-3,54	OK
S17	2.461,37	919.584.320	68,65	16.171,15	159.322,70	1,13	-3,54	OK
S17	1.580,43	576.950.858	68,65	16.171,15	101.491,73	1,77	-3,54	OK

Pelat	Ms (Kgm)	I (mm4)	e (mm)	Aps.fse (kg)	A pelat (mm2)	f_{bottom} midspan (N/mm2)	Syarat	Syarat	Cek
S1	615,34	919.584.320	68,65	67.389,99	159.322,70	3,98	-3,54	22,50	OK
S1	395,11	576.950.858	68,65	44.447,55	101.491,73	4,14	-3,54	22,50	OK
S2	2.461,37	919.584.320	68,65	92.161,07	159.322,70	3,54	-3,54	22,50	OK
S2	1.742,13	621.317.525	68,65	59.028,50	111.875,73	2,87	-3,54	22,50	OK
S3	1.742,13	621.317.525	68,65	59.028,50	111.875,73	2,87	-3,54	22,50	OK
S4	161,42	457.099.461	68,65	33.365,70	84.621,69	4,03	-3,54	22,50	OK
S5	42,69	919.584.320	68,65	25.065,49	111.875,73	2,35	-3,54	22,50	OK
S5	54,36	541.901.192	68,65	16.874,20	111.875,73	1,61	-3,54	22,50	OK
S6	207,19	698.576.922	68,65	16.171,15	84.621,69	1,73	-3,54	22,50	OK
S6	207,19	695.914.922	68,65	16.171,15	118.154,10	1,20	-3,54	22,50	OK
S7	1.025,68	520.284.320	68,65	16.171,15	65.866,70	0,52	-3,54	22,50	OK
S7	2.253,85	809.493.589	68,65	16.171,15	144.737,14	-1,76	-3,54	22,50	OK
S8	1.255,80	919.584.320	68,65	16.171,15	159.322,70	-0,34	-3,54	22,50	OK
S8	806,34	576.950.858	68,65	16.171,15	101.491,73	0,27	-3,54	22,50	OK
S9	615,34	919.584.320	68,65	16.171,15	159.322,70	0,41	-3,54	22,50	OK
S9	435,53	621.317.525	68,65	16.171,15	111.875,73	0,86	-3,54	22,50	OK
S10	289,34	919.584.320	68,65	16.171,15	159.322,70	0,79	-3,54	22,50	OK
S10	172,18	592.984.256	68,65	16.171,15	94.063,22	1,58	-3,54	22,50	OK
S11	277,17	919.584.320	68,65	66.274,53	159.322,70	4,30	-3,54	22,50	OK
S11	177,97	576.950.858	68,65	43.699,43	101.491,73	4,46	-3,54	22,50	OK
S12	2.461,37	919.584.320	68,65	92.161,07	159.322,70	3,54	-3,54	22,50	OK
S12	1.742,13	621.317.525	68,65	59.028,50	111.875,73	2,87	-3,54	22,50	OK
S12	2.273,26	814.817.589	68,65	72.149,52	145.983,22	2,50	-3,54	22,50	OK
S13	615,34	919.584.320	68,65	67.389,99	159.322,70	3,98	-3,54	22,50	OK
S13	568,31	621.317.525	68,65	25.065,49	111.875,73	1,51	-3,54	22,50	OK
S13	615,34	814.817.589	68,65	16.874,20	145.983,22	0,48	-3,54	22,50	OK
S14	204,79	919.584.320	68,65	16.171,15	159.322,70	0,89	-3,54	22,50	OK
S14	204,79	621.317.525	68,65	16.171,15	111.875,73	1,26	-3,54	22,50	OK
S14	267,22	814.817.589	68,65	16.171,15	145.983,22	0,88	-3,54	22,50	OK
S15	615,34	919.584.320	68,65	16.171,15	159.322,70	0,41	-3,54	22,50	OK
S15	379,75	560.091.525	68,65	16.171,15	97.545,81	1,11	-3,54	22,50	OK
S16	2.461,37	919.584.320	68,65	16.171,15	159.322,70	-1,76	-3,54	22,50	OK
S16	1.580,43	576.950.858	68,65	16.171,15	101.491,73	-1,18	-3,54	22,50	OK
S16	1.849,60	698.576.922	68,65	16.171,15	118.777,14	-1,35	-3,54	22,50	OK
S17	2.461,37	919.584.320	68,65	16.171,15	159.322,70	-1,76	-3,54	22,50	OK
S17	1.580,43	576.950.858	68,65	16.171,15	101.491,73	-1,18	-3,54	22,50	OK

Tegangan saat *service* (layan)

Data yang digunakan sama dengan perhitungan saat transfer.

Namun dengan tambahan sebagai berikut:

$$I_c = 2,303,143,852.14 \text{ mm}^4$$

$$Z_{ac} = \frac{I_c}{Y_{ac}} = \frac{2,303,143,852.14}{82.779} = 27,822,759.45 \text{ mm}^3$$

$$Z_{bc} = \frac{I_c}{Y_{bc}} = \frac{2,303,143,852.14}{197.221} = 11,677,992.62 \text{ mm}^3$$

Tabel 5.11. *Section modulus*

Pelat	Mutu topping (Mpa)	Mutu pelat (Mpa)	Be (mm)	Ybc (mm)	Ytc (mm)	Ic (mm4)	Zbc (mm3)	Ztc (mm3)
S1	30	50	926,42	197,221	82,779	2.303.143.852	11.677.993	27.822.759
S1	30	50	577,85	195,403	84,597	1.430.952.991	7.323.072	16.915.013
S2	30	50	926,42	197,221	82,779	2.303.143.852	11.677.993	27.822.759
S2	30	50	616,58	192,669	87,331	1.518.592.651	7.881.863	17.388.982
S3	30	50	616,58	192,669	87,331	1.518.592.651	7.881.863	17.388.982
S4	30	50	448,49	189,499	90,501	1.098.491.705	5.796.809	12.137.947
S5	30	50	926,42	234,212	45,788	2.676.193.008	11.426.389	58.446.972
S5	30	50	547,25	183,374	96,626	1.299.820.017	7.088.349	13.452.096
S6	30	50	708,76	235,634	44,366	2.055.766.250	8.724.414	46.336.255
S6	30	50	706,43	199,684	80,316	1.766.271.435	8.845.351	21.991.412
S7	30	50	577,85	241,595	38,405	1.673.766.753	6.927.982	43.582.147
S7	30	50	805,58	193,487	86,513	1.987.196.228	10.270.424	22.969.986
S8	30	50	926,42	197,221	82,779	2.303.143.852	11.677.993	27.822.759
S8	30	50	577,85	195,403	84,597	1.430.952.991	7.323.072	16.915.013
S9	30	50	926,42	197,221	82,779	2.303.143.852	11.677.993	27.822.759
S9	30	50	616,58	192,669	87,331	1.518.592.651	7.881.863	17.388.982
S10	30	50	926,42	197,221	82,779	2.303.143.852	11.677.993	27.822.759
S10	30	50	616,58	208,324	71,676	1.577.706.885	7.573.327	22.011.689
S11	30	50	926,42	197,221	82,779	2.303.143.852	11.677.993	27.822.759
S11	30	50	577,85	195,403	84,597	1.430.952.991	7.323.072	16.915.013
S12	30	50	926,42	197,221	82,779	2.303.143.852	11.677.993	27.822.759
S12	30	50	616,58	192,669	87,331	1.518.592.651	7.881.863	17.388.982
S12	30	50	810,23	193,252	86,748	1.997.751.976	10.337.539	23.029.421
S13	30	50	926,42	197,221	82,779	2.303.143.852	11.677.993	27.822.759
S13	30	50	616,58	192,669	87,331	1.518.592.651	7.881.863	17.388.982
S13	30	50	810,23	193,252	86,748	1.997.751.976	10.337.539	23.029.421
S14	30	50	926,42	197,221	82,779	2.303.143.852	11.677.993	27.822.759
S14	30	50	616,58	192,669	87,331	1.518.592.651	7.881.863	17.388.982
S14	30	50	810,23	193,252	86,748	1.997.751.976	10.337.539	23.029.421
S15	30	50	926,42	197,221	82,779	2.303.143.852	11.677.993	27.822.759
S15	30	50	563,13	196,595	83,405	1.398.059.987	7.111.372	16.762.298
S16	30	50	926,42	197,221	82,779	2.303.143.852	11.677.993	27.822.759
S16	30	50	577,85	195,403	84,597	1.430.952.991	7.323.072	16.915.013
S16	30	50	708,76	199,507	80,493	1.771.331.602	8.878.561	22.005.928
S17	30	50	926,42	197,221	82,779	2.303.143.852	11.677.993	27.822.759
S17	30	50	577,85	195,403	84,597	1.430.952.991	7.323.072	16.915.013

$$\begin{aligned}
F_n &= 686,504.51 && \text{N} \\
A_{(\text{pelat})} &= 159,322.70 && \text{mm}^2 \\
M_t &= 9.8 \times (0.06 \times 1.196 \times 2.1 \times 10^{-6}) \times (7)^2 / 8 \\
&= 9,045,527.40 \text{ Nmm} \\
M_s &= 2.461.37 \text{ kgm} = 24,121,406.40 \text{ Nmm} \\
M_{si} &= 0.8 \times 1.196 \times 7^2 / 8 = 5,860.40 \text{ kgm} \\
&= 57,431,920 \text{ Nmm} \\
M_l &= 0.25 \times 1.196 \times 7^2 / 8 = 1,831.38 \text{ kgm} \\
&= 17,947,475 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

Tabel 5.12. Momen akibat topping, berat sendiri, beban hidup dan beban mati

Pelat	Mt (N-mm)	Ms (N-mm)	Msi (N-mm)	MI (N-mm)
S1	2.261.381,85	6.030.351,60	14.357.980,00	4.486.868,75
S1	1.410.527,48	3.872.060,07	8.955.730,00	2.798.665,63
S2	9.045.527,40	24.121.406,40	57.431.920,00	17.947.475,00
S2	6.020.267,40	17.072.900,29	38.223.920,00	11.944.975,00
S3	6.020.267,40	17.072.900,29	38.223.920,00	11.944.975,00
S4	536.435,32	1.581.937,01	3.405.938,55	1.064.355,80
S5	265.827,74	418.374,63	1.687.795,20	527.436,00
S5	157.029,52	532.685,25	997.012,80	311.566,50
S6	779.280,41	2.030.439,94	4.947.812,16	1.546.191,30
S6	776.725,40	2.030.439,94	4.931.589,82	1.541.121,82
S7	5.642.109,90	10.051.649,01	35.822.920,00	11.194.662,50
S7	7.865.676,00	22.087.745,45	49.940.800,00	15.606.500,00
S8	4.615.065,00	12.306.840,00	29.302.000,00	9.156.875,00
S8	2.878.627,50	7.902.163,41	18.277.000,00	5.711.562,50
S9	2.261.381,85	6.030.351,60	14.357.980,00	4.486.868,75
S9	1.505.066,85	4.268.225,07	9.555.980,00	2.986.243,75
S10	1.063.310,98	2.835.495,94	6.751.180,80	2.109.744,00
S10	707.688,58	1.687.398,42	4.493.260,80	1.404.144,00
S11	1.018.600,41	2.716.267,76	6.467.304,20	2.021.032,56
S11	635.347,75	1.744.102,61	4.033.953,96	1.260.610,61
S12	9.045.527,40	24.121.406,40	57.431.920,00	17.947.475,00
S12	6.020.267,40	17.072.900,29	38.223.920,00	11.944.975,00
S12	7.911.054,90	22.277.904,65	50.228.920,00	15.696.537,50
S13	2.261.381,85	6.030.351,60	14.357.980,00	4.486.868,75
S13	1.505.066,85	5.569.476,16	9.555.980,00	2.986.243,75
S13	1.977.763,73	6.030.351,60	12.557.230,00	3.924.134,38
S14	1.063.310,98	2.006.936,85	6.751.180,80	2.109.744,00
S14	707.688,58	2.006.936,85	4.493.260,80	1.404.144,00
S14	929.952,58	2.618.790,42	5.904.460,80	1.845.144,00
S15	2.261.381,85	6.030.351,60	14.357.980,00	4.486.868,75
S15	1.374.602,51	3.721.517,37	8.727.635,00	2.727.385,94
S16	9.045.527,40	24.121.406,40	57.431.920,00	17.947.475,00
S16	5.642.109,90	15.488.240,29	35.822.920,00	11.194.662,50
S16	6.920.282,25	18.126.095,45	43.938.300,00	13.730.718,75
S17	9.045.527,40	24.121.406,40	57.431.920,00	17.947.475,00
S17	5.642.109,90	15.488.240,29	35.822.920,00	11.194.662,50

Tegangan atas saat *service*

$$\frac{F_n}{A} - \frac{F_n \cdot e}{Z_t} + \frac{M_t}{Z_t} + \frac{M_s}{Z_t} + \frac{M_{si}}{Z_{tc}} + \frac{M_l}{Z_{tc}} = -1.34 \text{ N/mm}^2$$

Nilai tegangan atas negatif berarti terjadi tegangan tarik.

Syarat tekan:

$$0.45 \times f'_c = 0.45 \times 50 \text{ MPa} = 22.50 \text{ MPa}$$

Syarat tarik:

$$-0.5 \times \sqrt{f'_c} = 0.5 \times \sqrt{50} = -3.54 \text{ MPa}$$

Karena $22.50 > -1.34 > -3.54$, maka syarat terpenuhi

Tabel 5.13. Tegangan atas saat kondisi layan

Pelat	F_n/A	$F_n.e/Z_t$	M_t/Z_t	M_s/Z_t	M_{si}/Z_{tc}	M_l/Z_{tc}	f_{top} (N/mm ²)	Syarat tekan	Syarat tarik	Cek
S1	4,61	3,70	0,19	0,22	0,52	0,16	1,99	22,50	(3,54)	OK
S1	4,77	3,97	0,19	0,23	0,53	0,17	1,92	22,50	(3,54)	OK
S2	6,30	5,06	0,77	0,87	2,06	0,65	5,59	22,50	(3,54)	OK
S2	5,75	5,03	0,76	0,98	2,20	0,69	5,34	22,50	(3,54)	OK
S3	5,75	5,03	0,76	0,98	2,20	0,69	5,34	22,50	(3,54)	OK
S4	4,29	3,99	0,09	0,13	0,28	0,09	0,89	22,50	(3,54)	OK
S5	2,44	0,81	0,02	0,01	0,03	0,01	-2,33	22,50	(3,54)	OK
S5	1,64	1,75	0,02	0,04	0,07	0,02	-2,17	22,50	(3,54)	OK
S6	2,08	0,66	0,09	0,04	0,11	0,03	-2,65	22,50	(3,54)	OK
S6	1,49	1,14	0,09	0,09	0,22	0,07	-1,65	22,50	(3,54)	OK
S7	2,67	0,73	0,81	0,23	0,82	0,26	-0,65	22,50	(3,54)	OK
S7	1,22	1,05	0,77	0,96	2,17	0,68	0,35	22,50	(3,54)	OK
S8	1,11	0,89	0,40	0,44	1,05	0,33	1,35	22,50	(3,54)	OK
S8	1,73	1,44	0,39	0,47	1,08	0,34	2,35	22,50	(3,54)	OK
S9	1,11	0,89	0,19	0,22	0,52	0,16	3,35	22,50	(3,54)	OK
S9	1,57	1,38	0,19	0,25	0,55	0,17	4,35	22,50	(3,54)	OK
S10	1,11	0,89	0,09	0,10	0,24	0,08	5,35	22,50	(3,54)	OK
S10	1,87	1,20	0,09	0,08	0,20	0,06	6,35	22,50	(3,54)	OK
S11	4,53	3,64	0,09	0,10	0,23	0,07	1,38	22,50	(3,54)	OK
S11	4,69	3,90	0,09	0,10	0,24	0,07	1,29	22,50	(3,54)	OK
S12	6,30	5,06	0,77	0,87	2,06	0,65	5,59	22,50	(3,54)	OK
S12	5,75	5,03	0,76	0,98	2,20	0,69	5,34	22,50	(3,54)	OK
S12	5,38	4,66	0,77	0,97	2,18	0,68	5,31	22,50	(3,54)	OK
S13	4,61	3,70	0,19	0,22	0,52	0,16	1,99	22,50	(3,54)	OK
S13	2,44	2,14	0,19	0,32	0,55	0,17	-2,33	22,50	(3,54)	OK
S13	1,26	1,09	0,19	0,26	0,55	0,17	-2,17	22,50	(3,54)	OK
S14	1,11	0,89	0,09	0,07	0,24	0,08	-2,65	22,50	(3,54)	OK
S14	1,57	1,38	0,09	0,12	0,26	0,08	-1,65	22,50	(3,54)	OK
S14	1,21	1,05	0,09	0,11	0,26	0,08	-0,65	22,50	(3,54)	OK
S15	1,11	0,89	0,19	0,22	0,52	0,16	0,35	22,50	(3,54)	OK
S15	1,81	1,47	0,19	0,22	0,52	0,16	1,35	22,50	(3,54)	OK
S16	1,11	0,89	0,77	0,87	2,06	0,65	2,35	22,50	(3,54)	OK
S16	1,73	1,44	0,77	0,92	2,12	0,66	3,35	22,50	(3,54)	OK
S16	1,48	1,14	0,78	0,82	2,00	0,62	4,35	22,50	(3,54)	OK
S17	1,11	0,89	0,77	0,87	2,06	0,65	5,35	22,50	(3,54)	OK
S17	1,73	1,44	0,77	0,92	2,12	0,66	6,35	22,50	(3,54)	OK

Tegangan bawah saat *service*

$$\frac{F_n}{A} + \frac{F_n \cdot e}{Z_t} - \frac{M_t}{Z_t} - \frac{M_s}{Z_t} - \frac{M_{si}}{Z_{tc}} - \frac{M_l}{Z_{tc}} = 6.11 \text{ N/mm}^2$$

Nilai tegangan bawah adalah positif berarti terjadi tegangan tekan.

Syarat tekan:

$$0.45 \times f'_c = 0.45 \times 50 \text{ MPa} = 22.50 \text{ MPa}$$

Syarat tarik:

$$-0.5 \times \sqrt{f'_c} = 0.5 \times \sqrt{50} = -3.54 \text{ MPa}$$

Karena $22.50 > 6.11 > -3.54$, maka syarat terpenuhi

Tabel 5.14. Tegangan bawah saat kondisi layan

Pelat	Fn/A	Fn.e/ Zb	Mt/Z b	Ms/ Zb	Msi/ Zbc	MI/Z bc	f _{bottom} (N/mm ²)	Syarat tekan	Syarat tarik	Cek
S1	4,61	3,70	0,08	0,22	0,52	0,16	7,33	22,50	(3,54)	OK
S1	4,77	3,97	0,08	0,23	0,53	0,17	7,73	22,50	(3,54)	OK
S2	6,30	5,06	0,33	0,87	2,06	0,65	7,46	22,50	(3,54)	OK
S2	5,75	5,03	0,35	0,98	2,20	0,69	6,57	22,50	(3,54)	OK
S3	5,75	5,03	0,35	0,98	2,20	0,69	6,57	22,50	(3,54)	OK
S4	4,29	3,99	0,04	0,13	0,28	0,09	7,74	22,50	(3,54)	OK
S5	2,44	0,81	0,00	0,01	0,03	0,01	3,20	22,50	(3,54)	OK
S5	1,64	1,75	0,01	0,04	0,07	0,02	3,24	22,50	(3,54)	OK
S6	2,08	0,66	0,02	0,04	0,11	0,03	2,54	22,50	(3,54)	OK
S6	1,49	1,14	0,04	0,09	0,22	0,07	2,21	22,50	(3,54)	OK
S7	2,67	0,73	0,13	0,23	0,82	0,26	1,96	22,50	(3,54)	OK
S7	1,22	1,05	0,34	0,96	2,17	0,68	-1,89	22,50	(3,54)	OK
S8	1,11	0,89	0,17	0,44	1,05	0,33	0,00	22,50	(3,54)	OK
S8	1,73	1,44	0,17	0,47	1,08	0,34	1,12	22,50	(3,54)	OK
S9	1,11	0,89	0,08	0,22	0,52	0,16	1,02	22,50	(3,54)	OK
S9	1,57	1,38	0,09	0,25	0,55	0,17	1,90	22,50	(3,54)	OK
S10	1,11	0,89	0,04	0,10	0,24	0,08	1,53	22,50	(3,54)	OK
S10	1,87	1,20	0,03	0,08	0,20	0,06	2,70	22,50	(3,54)	OK
S11	4,53	3,64	0,04	0,10	0,23	0,07	7,73	22,50	(3,54)	OK
S11	4,69	3,90	0,04	0,10	0,24	0,07	8,14	22,50	(3,54)	OK
S12	6,30	5,06	0,33	0,87	2,06	0,65	7,46	22,50	(3,54)	OK
S12	5,75	5,03	0,35	0,98	2,20	0,69	6,57	22,50	(3,54)	OK
S12	5,38	4,66	0,34	0,97	2,18	0,68	5,87	22,50	(3,54)	OK
S13	4,61	3,70	0,08	0,22	0,52	0,16	7,33	22,50	(3,54)	OK
S13	2,44	2,14	0,09	0,32	0,55	0,17	3,45	22,50	(3,54)	OK
S13	1,26	1,09	0,09	0,26	0,55	0,17	1,29	22,50	(3,54)	OK
S14	1,11	0,89	0,04	0,07	0,24	0,08	1,56	22,50	(3,54)	OK
S14	1,57	1,38	0,04	0,12	0,26	0,08	2,46	22,50	(3,54)	OK
S14	1,21	1,05	0,04	0,11	0,26	0,08	1,76	22,50	(3,54)	OK
S15	1,11	0,89	0,08	0,22	0,52	0,16	1,02	22,50	(3,54)	OK
S15	1,81	1,47	0,08	0,22	0,52	0,16	2,29	22,50	(3,54)	OK
S16	1,11	0,89	0,33	0,87	2,06	0,65	-1,91	22,50	(3,54)	OK
S16	1,73	1,44	0,33	0,92	2,12	0,66	-0,85	22,50	(3,54)	OK
S16	1,48	1,14	0,31	0,82	2,00	0,62	-1,14	22,50	(3,54)	OK
S17	1,11	0,89	0,33	0,87	2,06	0,65	-1,91	22,50	(3,54)	OK
S17	1,73	1,44	0,33	0,92	2,12	0,66	-0,85	22,50	(3,54)	OK

5.2.3. Desain kekuatan lentur

Kapasitas momen beton pratekan adalah fungsi dari tegangan *ultimate* yang didapatkan dari tulangan pratekanan. Sebagaimana untuk beton non-pratekan, batas atas dan bawah digantungkan pada jumlah tulangan untuk memastikan bahwa tulangan tersebut *compatible* dengan tegangan dari beton untuk menghasilkan perilaku daktail.

Batas bawah penulangan ditentukan yaitu:

$$\phi M_n \geq 1,2 M_{cr}$$
$$M_{cr} = \frac{I}{y_b} \left(\frac{P}{A} + \frac{P.e}{S_b} + 7,5 \sqrt{f'c} \right)$$

Hal ini meyakinkan bahwa saat beton mengalami retak /*crack* karena lentur, tulangan pratekanan tidak akansedang mengalami tegangan maksimumnya. Pelanggaran terhadap ketentuan ini ditakutkan akan mengakibatkan patah/retak pada tulangan saat terjadi retak karena lentur dan mengakibatkan kegagalan getas/non-daktail.

Penentuan batas atas perkuatan memerlukan syarat:

$$\omega_p + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \leq 0,36 \beta_1$$
$$\omega_{pw} + \frac{d}{d_p} (\omega_x - \omega'_w) \leq 0,36 \beta_1$$

Pentingnya penentuan batas atas penulangan memiliki keterkaitan dengan asumsi regangan *ultimate* beton. Menggunakan blok tegangan tekan seragam memaksa lebih banyak bagian beton untuk mencapai regangan *ultimate* bersamaan dengan bertambahnya rasio tulangan. Oleh karena itu saat batas atas perkuatan dilampaui, momen kapasitas harus didasarkan pada daerah tekan. Untuk keadaan ini:

$$\phi M_n = \phi [f'c \cdot b \cdot d_p^2 \cdot (0,36 \cdot \beta_1 - 0,08 \cdot \beta_1^2)]$$

untuk beton persegi atau beton dengan *flange* (sayap) yang garis netralnya berada di *flange* (sayap).

Data:

- Diameter strand	= 12.7	mm
- Mutu baja strand	= 1860.04	mm
- Tipe strand	= <i>low relaxation steel</i>	
- Mutu beton hollow core	= 50	MPa
- Cover	= 35	mm
- Tinggi pelat (t)	= 220	mm
- Jumlah <i>core</i>	= 5	buah
- Diameter <i>core</i>	= 155	mm
- Berat jenis	= 336	kg/m ²
- Lebar pelat	= 1196	mm
- Panjang pelat	= 7000	mm
- $d_p : 220 - 35 - 0.5 \times 12.7$	= 178.65	mm
- f_{pu}	= 900	N/mm ²

Superimposed load:

- Beban finishing + dinding = 800 kg/m

Live load = 250 kg/m²

Metode 1

$$f_{ps} = f_{pu} \cdot \left[1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \cdot \left(\rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} \right) \right]$$

$$\beta_1 = 0.85$$

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \cdot d_p} = \frac{0.25 \times \pi \times 12.7^2}{1196 \times 178.65} = 0.00474$$

$$\gamma_p = 0.28 \text{ untuk } low \text{ relaxation steel}$$

$$f_{ps} = 874,69 \text{ N/mm}^2$$

$$a = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{0.85 \cdot f'_c \cdot b} = 17.44 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot (d_p - 0.5a)$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0.9 \times 126.68 \times 874.69 \times (178.65 - 0.5 \times 16.5) \\ &= 128,597,188.93 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen ultimate:

$$Dl = 800 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Self load} = 336 \text{ kg/m}^2$$

$$Ll = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$L = 7 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned} q_u &= 1.2 (Dl + \text{self load}) + 1.6 Ll \\ &= 1,763.20 \text{ Kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mu &= 1.2 \times q_u \times L^2 / 8 = 13,063.47 \text{ kgm} \\ &= 126,579,951.68 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n > Mu \dots \text{OK}$$

Tabel 5.15. Cek Kuat Momen Nominal Pelat

Pelat	Dp (mm)	Jumlah strand	γ_p	fps (N/mm ²)	ϕM_n (N-mm)	Mu (Nmm)	Cek Momen
S1	178.65	6	0.28	1166.25	135,567,289.63	34,746,311.60	OK
S1	178.65	4	0.28	1163.93	89,889,605.14	21,805,650.77	OK
S2	178.65	8	0.28	1155.00	176,069,163.79	138,985,246.40	OK
S2	178.65	5	0.28	1157.74	110,750,491.22	93,724,511.06	OK
S3	178.65	5	0.28	1157.74	110,750,491.22	93,724,511.06	OK
S4	178.65	3	0.28	1165.14	67,608,660.34	8,424,102.68	OK
S5	178.65	6	0.28	1166.25	135,567,289.63	3,735,865.16	OK
S5	178.65	3	0.28	1171.43	68,608,254.50	2,549,498.83	OK
S6	178.65	4	0.28	1170.59	91,298,005.67	11,916,536.03	OK
S6	178.65	4	0.28	1170.50	91,277,407.23	11,885,454.03	OK
S7	178.65	4	0.28	1163.93	89,889,605.14	80,698,693.53	OK
S7	178.65	6	0.28	1161.19	133,974,518.58	122,191,867.34	OK
S8	178.65	6	0.28	1166.25	135,567,289.63	70,910,840.00	OK
S8	178.65	4	0.28	1163.93	89,889,605.14	44,501,328.09	OK
S9	178.65	6	0.28	1166.25	135,567,289.63	34,746,311.60	OK
S9	178.65	4	0.28	1166.20	90,366,269.92	23,431,127.77	OK
S10	178.65	6	0.28	1166.25	135,567,289.63	16,337,857.54	OK
S10	178.65	4	0.28	1166.20	90,366,269.92	10,633,965.80	OK
S11	178.65	6	0.28	1166.25	135,567,289.63	15,650,876.15	OK
S11	178.65	4	0.28	1163.93	89,889,605.14	9,821,978.91	OK
S12	178.65	8	0.28	1155.00	176,069,163.79	138,985,246.40	OK
S12	178.65	5	0.28	1157.74	110,750,491.22	93,724,511.06	OK
S12	178.65	6	0.28	1161.41	134,044,190.26	122,972,096.30	OK
S13	178.65	6	0.28	1166.25	135,567,289.63	34,746,311.60	OK
S13	178.65	4	0.28	1166.20	90,366,269.92	24,992,629.07	OK
S13	178.65	5	0.28	1167.84	113,393,150.90	31,296,074.60	OK
S14	178.65	6	0.28	1166.25	135,567,289.63	15,343,586.63	OK
S14	178.65	4	0.28	1166.20	90,366,269.92	11,017,411.91	OK
S14	178.65	5	0.28	1167.84	113,393,150.90	14,455,495.40	OK
S15	178.65	6	0.28	1166.25	135,567,289.63	34,746,311.60	OK
S15	178.65	4	0.28	1162.99	89,691,981.82	21,187,969.51	OK
S16	178.65	8	0.28	1155.00	176,069,163.79	138,985,246.40	OK
S16	178.65	5	0.28	1154.91	110,019,960.52	87,222,603.06	OK
S16	178.65	6	0.28	1155.89	132,325,329.88	105,937,097.34	OK
S17	178.65	8	0.28	1155.00	176,069,163.79	138,985,246.40	OK
S17	178.65	4	0.28	1163.93	89,889,605.14	87,222,603.06	OK

5.2.4. Desain geser

Pelat hollow core didesain sesuai dengan SNI-2847-2002 untuk beton prategang. Syarat yang ditentukan dalam SNI adalah sebagai berikut:

$$\phi V_u \geq V_n \quad (\text{SNI pasal 13.1.1})$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (\text{SNI pasal 13.1.1})$$

Keterangan:

V_n = Tegangan geser nominal

V_c = Kuat geser nominal yang disumbangkan beton

V_s = Kuat geser nominal yang disumbangkan tulangan

$$M_u = 126,579,951.68 \quad \text{Nmm}$$

$$V_u = M_u \times L_x = 72,331.40 \text{ N}$$

$$d = 260 - 35 - 0.5 \times 12.7 = 238.65 \text{ mm}$$

$$d \geq 0.8h = 0.8 \times 260 = 208, \text{ maka nilai } d \text{ dipakai } 238.65 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{20} + 5 \frac{V_u}{M_u} d \right) \cdot b_w \cdot d \quad (\text{SNI pasal 13.4.1}) \\ &= \left(\frac{\sqrt{50}}{20} + 5 \frac{72,331.40}{126,579,951.68} 238.65 \right) \times 1196 \times 238.65 \\ &= 296,520.87 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &\geq \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{50} \cdot 1196 \cdot 238.65 \\ &= 337,502.07 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Maka } \phi V_c = 0.85 \times 337,502.07 \text{ N} = 286,876.76 \text{ N}$$

Karena $\phi V_c > 2 \times V_u$, maka tidak perlu sengkang/tulangan geser.

Tabel 5.16. Kuat geser beton

Pelat	Vu.d/ Mu	Cek	Vc min (N)	Vc max (N)	Vc (N)	Vc pakai (N)	Cek
S1	0.19	0.19	337,502.07	810,004.96	375597.25	319,257.66	OK
S1	0.19	0.19	337,502.07	810,004.96	373926.63	317,837.64	OK
S2	0.10	0.10	337,502.07	810,004.96	238423.94	286,876.76	OK
S2	0.09	0.09	337,502.07	810,004.96	236634.53	286,876.76	OK
S3	0.09	0.09	337,502.07	810,004.96	236634.53	286,876.76	OK
S4	0.27	0.27	337,502.07	810,004.96	484719.49	412,011.57	OK
S5	1.90	1.00	337,502.07	810,004.96	1533150.62	688,504.22	OK
S5	1.85	1.00	337,502.07	810,004.96	1533150.62	688,504.22	OK
S6	0.25	0.25	337,502.07	810,004.96	453596.98	385,557.44	OK
S6	0.25	0.25	337,502.07	810,004.96	454121.36	386,003.15	OK
S7	0.04	0.04	337,502.07	810,004.96	156065.33	286,876.76	OK
S7	0.03	0.03	337,502.07	810,004.96	148732.31	286,876.76	OK
S8	0.05	0.05	337,502.07	810,004.96	176013.90	286,876.76	OK
S8	0.06	0.06	337,502.07	810,004.96	186518.39	286,876.76	OK
S9	0.09	0.09	337,502.07	810,004.96	235235.73	286,876.76	OK
S9	0.11	0.11	337,502.07	810,004.96	259919.94	286,876.76	OK
S10	0.20	0.20	337,502.07	810,004.96	384217.58	326,584.94	OK
S10	0.26	0.26	337,502.07	810,004.96	475531.37	404,201.67	OK
S11	0.29	0.29	337502.067	810004.96	510025.93	433522.041	OK
S11	0.28	0.28	337502.067	810004.96	507536.72	431406.211	OK
S12	0.10	0.10	337502.067	810004.96	238423.94	286876.757	OK
S12	0.09	0.09	337502.067	810004.96	236634.53	286876.757	OK
S12	0.09	0.09	337502.067	810004.96	236842.06	286876.757	OK
S13	0.19	0.19	337502.067	810004.96	375597.25	319257.663	OK
S13	0.14	0.14	337502.067	810004.96	302507.16	286876.757	OK
S13	0.10	0.10	337502.067	810004.96	247224.05	286876.757	OK
S14	0.21	0.21	337502.067	810004.96	402553.60	342170.563	OK
S14	0.25	0.25	337502.067	810004.96	462504.54	393128.859	OK
S14	0.21	0.21	337502.067	810004.96	404384.48	343726.807	OK
S15	0.09	0.09	337502.067	810004.96	235235.69	286876.757	OK
S15	0.12	0.12	337502.067	810004.96	269084.01	286876.757	OK
S16	0.03	0.03	337502.067	810004.96	148257.58	286876.757	OK
S16	0.04	0.04	337502.067	810004.96	151965.41	286876.757	OK
S16	0.03	0.03	337502.067	810004.96	150485.71	286876.757	OK
S17	0.03	0.03	337502.067	810004.96	148257.58	286876.757	OK
S17	0.04	0.04	337502.067	810004.96	151965.42	286876.757	OK

5.2.5. Lendutan dan defleksi

Lendutan (lengkungan/benjolan) adalah defleksi ke atas sebuah struktur prategang dan adalah hasil dari pratekanan yang memiliki eksentrisitas dari garis gravitasi luas penampangnya. Karena gaya pratekanan dan eksentrisitas, keduanya adalah sesuatu yang dibuat dengan sengaja sebagai kebutuhan desain sesuai beban rencana dan panjang bentang, lendutan dinilai lebih sebagai hasil (sampingan) desain daripada parameter desain. Karena itu saat mendesain tidak ditentukan tentang adanya kebutuhan lendutan.

Defleksi juga dipengaruhi oleh adanya jumlah pratekanan saja karena pratekanan diadakan untuk beban saat beton pratekan akan retak. Jika kuat tarik dijaga dibawah batas retak, defleksi tidak akan dipengaruhi oleh tingkat pratekanan.

Lendutan dan defleksi akan berubah seiring waktu karena pengaruh rangkai beton, kehilangan pratekanan dan faktor-faktor lain. Gaya tekan yang diterima akan menyebabkan lendutan semakin tumbuh. Yang mengimbangi hal ini adalah efek defleksi akibat rangkai karena beban sendiri dan beban layan. Karena perubahan yang terikat dengan waktu inilah dan dengan tambahan defleksi instan (saat awal pratekanan), harus diperhitungkan pada pengembangan pola frame dan pendetailan.

Lendutan dan defleksi instan dapat diprediksi sepanjang material bahan diketahui. Lendutan dan defleksi yang terikat dengan waktu tidak dapat diprediksi dengan derajat keakuratan dan segala kalkulasi jangka panjang dari pola pergerakan frame, hal ini hanya diperhitungkan sebagai estimasi.

Lendutan inisial

Diestimasi:

- Kehilangan awal adalah 5% dan Mpa.
- Tegangan inisial = 70%

Dengan (-) sebagai indikasi lengkung ke atas dan (+) lengkung ke bawah, lendutan dihitung dengan rumus:

$$E_{ci} = 80\% \cdot 4700 \cdot \sqrt{f_{c'}} = 80\% \cdot 4700 \cdot \sqrt{50} \\ = 26,587.21 \text{ Mpa}$$

$$C = \frac{P_o \cdot e \cdot l^2}{8 \cdot E_{ci} I} - \frac{5 \cdot w \cdot l^4}{384 \cdot E_{ci} I}$$

P_o = Gaya pratekanan efektif inisial sebelum terjadi kehilangan jangka panjang

e = Jarak garis netral ke centroid tul. Pratekan

C = lendutan

$$P_o = 95\% \times 70\% \times f_r \times 8 \times \text{luas strand} \\ = 0,95 \times 0,7 \times 86.73 \text{ kg/mm}^2 \times 8 \times 126,67 \text{ mm}^2 \\ = 61,528,77 \text{ kg} = 602,981.90 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 e &= 110 - 35 - 0,5 \times 12,7 = 68,65 \text{ mm} \\
 I &= 919,584,319 \text{ mm}^4 \\
 w &= 336 \text{ kg/m}^2 \times 1,196 \text{ m} = 401.856 \text{ kg/m} = 3,94 \text{ N/mm} \\
 C &= -\frac{602,981.9 \times 68.65 \times 7000^2}{8 \times 26,587.21 \times 919,584,319} + \\
 &\quad \frac{5 \times 3,94 \times 7000^4}{384 \times 26,587.21 \times 919,584,319} = -10.370 + 5.036 \\
 &= -5.33 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka lendutan inisial adalah -5.33 mm (ke atas)

Cek lendutan

$$\frac{l}{480} = \frac{7000}{480} = 14.58 \text{ mm} > 5.33 \text{ mm} \dots \text{OK}$$

Defleksi

Sebagaimana halnya dengan lendutan, rangkai beton juga mempengaruhi defleksi dikarenakan beban *superimposed load* yang dipikul. Efek jangka panjang ini harus diperhitungkan dengan memperhatikan Tabel 9 Lendutan izin maksimum SNI-2847-2002.

Keterangan:

Δ_c = lendutan akibat gaya prategangan

Δ_s = defleksi akibat beban sendiri

Δ_{si} = defleksi akibat *superimposed dead load*

Δ_t = defleksi akibat beban topping

Δl = defleksi akibat beban hidup

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f_c'} = 4700 \cdot \sqrt{50} = 34856,13 \text{ Mpa}$$

$$e \text{ (dengan topping)} = Y_{bc} - \text{cover} - 0,5x_{\text{strand}} \\ = 204.209 - 35 - 0,5 \times 12.7 = 162.86 \text{ mm}$$

$$\text{Beban sendiri} = 336 \text{ kg/m}^2 \times 1.196 \text{ m} = 401.856 \text{ kg/m} \\ = 3.94 \text{ N/mm}$$

$$\text{Beban topping} = 2100 \text{ kg/m}^3 \times 0,06 \times 1.196 = 150.67 \text{ kg/m} \\ = 1.48 \text{ N/mm}$$

$$\text{Beban live} = 250 \text{ kg/m}^2 \times 1.196 \text{ m} = 299 \text{ kg/m} \\ = 2.93 \text{ N/mm}$$

$$\text{Beban superimposed} = 800 \text{ kg/m}^2 \times 1.196 \text{ m} = 956.8 \text{ kg/m} \\ = 9.37 \text{ N/mm}$$

$$\Delta_c = \frac{p_o \times e \times l^2}{8 \times E_i \times I} = - \frac{602,981.90 \times 68.65 \times 7000^2}{8 \times 26,587.21 \times 919,584,319.55} \\ = -10,37 \text{ mm}$$

$$\Delta_s = \frac{5 \cdot w \cdot l^4}{384 \cdot E_{cl} \cdot I} = \frac{5 \times 3.94 \times 7000^4}{384 \times 26,587.21 \times 919,584,319.55} \\ = 5.036 \text{ mm}$$

$$\Delta_{si} = \frac{5 \cdot w \cdot l^4}{384 \cdot E_{cl} \cdot I} = \frac{5 \times 9.37 \times 7000^4}{384 \times 33,234.02 \times 919,584,319.55} \\ = 3.56 \text{ mm}$$

$$\Delta t = \frac{5 \cdot w \cdot l^4}{384 \cdot E_c I} = \frac{5 \times 1.48 \times 7000^4}{384 \times 33,234.02 \times 919,584,319.55}$$

$$= 0.561 \text{ mm}$$

$$\Delta l = \frac{5 \cdot w \cdot l^4}{384 \cdot E_c I} = \frac{5 \times 2.93 \times 7000^4}{384 \times 33,234.02 \times 919,584,319.55}$$

$$= 1.112 \text{ mm}$$

Tabel 5.17. Lendutan akibat beban-beban pada hollow core

Pelat	Panjang bentang	Δ_c (mm)	Δ_s (mm)	Δ_{si} (mm)	Δ_t (mm)	Δ_l (mm)
S1	3.50	-2.93	0.34	0.24	0.04	0.07
S1	3.50	-3.11	0.34	0.24	0.04	0.08
S2	7.00	-15.62	5.37	3.83	0.60	1.20
S2	7.00	-14.45	5.63	3.87	0.61	1.21
S3	7.00	-14.45	5.63	3.87	0.61	1.21
S4	2.45	-1.44	0.09	0.06	0.01	0.02
S5	1.20	-0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
S5	1.20	-0.29	0.01	0.00	0.00	0.00
S6	2.35	-1.16	0.07	0.04	0.01	0.01
S6	2.35	-1.16	0.07	0.05	0.01	0.02
S7	7.00	-13.80	3.96	3.29	0.52	1.03
S7	7.00	-13.31	5.59	3.86	0.61	1.21
S8	5.00	-5.98	1.40	1.00	0.16	0.31
S8	5.00	-6.35	1.43	1.00	0.16	0.31
S9	3.50	-2.93	0.34	0.24	0.04	0.07
S9	3.50	-2.89	0.35	0.24	0.04	0.08
S10	2.40	-1.38	0.07	0.05	0.01	0.02
S10	2.4	-1.42	0.07	0.05	0.01	0.02
S11	2.349	-1.32	0.07	0.05	0.01	0.02
S11	2.349	-1.40	0.07	0.05	0.01	0.02
S12	7	-15.62	5.37	3.83	0.60	1.20
S12	7	-14.45	5.63	3.87	0.61	1.21
S12	7	-13.22	5.60	3.86	0.61	1.21
S13	3.5	-2.93	0.34	0.24	0.04	0.07
S13	3.5	-2.89	0.46	0.24	0.04	0.08
S13	3.5	-2.75	0.38	0.24	0.04	0.08
S14	2.4	-1.38	0.05	0.05	0.01	0.02
S14	2.4	-1.36	0.08	0.05	0.01	0.02
S14	2.4	-1.29	0.08	0.05	0.01	0.02
S15	3.5	-2.93	0.34	0.24	0.04	0.07
S15	3.5	-3.20	0.34	0.24	0.04	0.07
S16	7	-15.62	5.37	3.83	0.60	1.20
S16	7	-15.56	5.50	3.84	0.61	1.20
S16	7	-15.42	5.31	3.81	0.60	1.19
S17	7	-15.62	5.37	3.83	0.60	1.20
S17	7	-12.45	5.50	3.84	0.61	1.20

Tabel 5.18. Pengaruh lendutan jangka panjang
 Martin, L.D., "A Rational Method for Estimating
 Lendutan and Deflection of Precast,
 Prestressed Concrete Members", PCI
 JOURNAL, January-February, 1977

Condition	Without Composite Topping	With Composite Topping
At Erection:		
1. Deflection (downward) component - apply to the elastic deflection due to the member weight at release of prestress	1.85	1.85
2. Camber (upward) component - apply to the elastic camber due to the prestress at the time of release of prestress	1.80	1.80
Final:		
3. Deflection (downward) component - apply to the elastic deflection due to the member weight at release of prestress	2.70	2.40
4. Camber (upward) component - apply to the elastic camber due to prestress at the time of release of prestress	2.45	2.20
5. Deflection (downward) - apply to elastic deflection due to superimposed dead load only	3.00	3.00
6. Deflection (downward) - apply to elastic deflection caused by the composite topping	---	2.30

Tabel 5.19. Lendutan izin maksimum SNI-2847-2002

Jenis komponen struktur	Defleksi yang Dipertimbangkan	Batas lendutan
Atap datar yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$\frac{l^a}{180}$

yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar		
Lantai yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$\frac{l}{360}$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka	$\frac{l^b}{480}$

lendutan yang besar	panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja, dan	
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstructural yang mungkin tidak akan rusak oleh lendutan yang besar.	lendutan seketika, akibat penambahan beban hidup) ^c	$\frac{l^d}{240}$
<p>a) Batasan ini tidak dimaksudkan untuk mencegah kemungkinan penggenangan air. Kemungkinan penggenangan air harus diperiksa dengan melakukan perhitungan lendutan, termasuk lendutan tambahan akibat adanya penggenangan air tersebut, dan mempertimbangkan pengaruh jangka panjang dari bebanyang selalu bekerja, lawan lendut, toleransi konstruksi dan keandalan sistem drainase.</p> <p>b) Batas lendutan boleh dilampaui bila langkah pencegahan</p>		

kerusakan terhadap komponen yang ditumpu atau yang disatukan telah dilakukan.

c) Lendutan jangka panjang harus dihitung berdasarkan ketentuan 11.5(2(5)) atau 11.5(4(2)), tetapi boleh dikurangi dengan nilai lendutan yang terjadi sebelum penambahan komponen non-struktural. Besarnya nilai lendutan ini harus ditentukan berdasarkan data teknis yang dapat diterima berkenaan dengan karakteristik hubungan waktu dan lendutan dari komponen struktur yang serupa dengan komponen struktur yang ditinjau.

d) Tetapi tidak boleh lebih besar dari toleransi yang disediakan untuk komponen non-struktural. Batasan ini boleh dilampaui bila ada lawan lendut yang disediakan sedemikian hingga lendutan total dikurangi lawan lendut tidak melebihi batas lendutan yang ada.

$$\begin{aligned}\text{Defleksi (final)} \Delta_f &= 2.2\Delta_c + 2.4\Delta_s + 2.3\Delta_t + 3\Delta_{si} \\ &= 2.2 (-10.37) + 2.4 (5.04) + 2.3(0.56) + 3(3.56) \\ &= 1.24 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Defleksi (ereksi)} \Delta_e &= 1.8\Delta_c + 1.85\Delta_s + \Delta_t + \Delta_{si} \\ &= 1.8(-10.37) + 1.85(5.04) + 0.56 + 3.56 \\ &= -5.23 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Defleksi total} &= \Delta e + \Delta f + \Delta l.l = 1.24 + 5.23 + 1.11 \\ &= 7.58 \text{ mm}\end{aligned}$$

Cek lendutan

$$\frac{l}{480} = \frac{8000}{360} = 14.58 \text{ mm} > 7.58 \text{ mm} \dots \text{OK}$$

Tabel 5.20. Lendutan saat *erection* dan layan

Pelat	Defleksi ereksi (mm)	Defleksi ijin (mm; SNI tabel 9)	Defleksi akhir (mm)	Defleksi ijin (mm; SNI tabel 9)	Cek
S1	-4.37	14.58	-4.83	9.72	OK
S1	-4.69	14.58	-5.21	9.72	OK
S2	-13.74	29.17	-8.59	19.44	OK
S2	-11.12	29.17	-5.28	19.44	OK
S3	-11.12	29.17	-5.28	19.44	OK
S4	-2.37	10.21	-2.77	6.81	OK
S5	-0.61	5.00	-0.74	3.33	OK
S5	-0.51	5.00	-0.62	3.33	OK
S6	-1.91	9.79	-2.25	6.53	OK
S6	-1.91	9.79	-2.23	6.53	OK
S7	-13.72	29.17	-9.81	19.44	OK
S7	-9.14	29.17	-2.88	19.44	OK
S8	-7.02	20.83	-6.44	13.89	OK
S8	-7.62	20.83	-7.17	13.89	OK
S9	-4.37	14.58	-4.83	9.72	OK
S9	-4.27	14.58	-4.70	9.72	OK
S10	-2.28	10.00	-2.67	6.67	OK
S10	-2.38	10.00	-2.79	6.67	OK
S11	-2.19	9.79	-2.57	6.53	OK
S11	-2.34	9.79	-2.75	6.53	OK
S12	-13.74	29.17	-8.59	19.44	OK
S12	-11.12	29.17	-5.28	19.44	OK
S12	-8.97	29.17	-2.66	19.44	OK
S13	-4.37	14.58	-4.83	9.72	OK
S13	-4.07	14.58	-4.44	9.72	OK
S13	-3.98	14.58	-4.34	9.72	OK
S14	-2.32	10.00	-2.72	6.67	OK
S14	-2.24	10.00	-2.62	6.67	OK
S14	-2.13	10.00	-2.48	6.67	OK
S15	-4.37	14.58	-4.83	9.72	OK
S15	-4.86	14.58	-5.43	9.72	OK
S16	-13.74	29.17	-8.59	19.44	OK
S16	-13.38	29.17	-8.10	19.44	OK
S16	-13.51	29.17	-8.36	19.44	OK
S17	-13.74	29.17	-8.59	19.44	OK
S17	-7.78	29.17	-1.26	19.44	OK

5.3. Perencanaan Tangga

Konstruksi tangga dibuat dengan sistem pracetak. Pembuatan semua komponen tangga beton pracetak harus berulang dan dalam jumlah yang cukup banyak untuk memberikan kelayakan secara ekonomis. Landasan untuk tumpuan tangga beton pracetak pada daerah lantai dicor secara monolit.

Perancangan struktur tangga dapat mengambil beberapa macam alternatif, baik itu konstruksi maupun perletakkannya. Konstruksi tangga dapat direncanakan sebagai balok tipis, pelat, maupun sebagai konstruksi balok dan pelat. Perbedaan asumsi menentukan besarnya gaya reaksi yang terjadi pada struktur tangga.

Dalam perancangan ini tangga diasumsikan sebagai frame 2 dimensi, yang kemudian dianalisa untuk menentukan gaya-gaya dalamnya dengan perencanaan struktur statis tertentu. Perancangan tangga diasumsikan sebagai frame 2 dimensi karena hasil analisa gaya-gaya dalamnya telah mendekati nilai gaya-gaya dalam pada tangga yang sebenarnya. Perletakan dapat diasumsikan sebagai sendi-sendi, sendi-jepit, sendi-rol, ataupun jepit-jepit. Perbedaan asumsi akan menentukan cara penulangan konstruksi serta pengaruhnya terhadap struktur secara keseluruhan. Dalam perhitungan ini perletakan diasumsikan sebagai sendi-rol

karena tidak ada momen pada ujung-ujung balok yang dapat mengakibatkan penambahan momen pada kolom. Penambahan momen pada kolom dapat mengakibatkan dimensi kolom menjadi besar atau penambahan jumlah tulangan.

5.3.1 Dimensi Awal

Data-data perencanaan :

$$\text{Beda tinggi antar lantai}(h) = 4320 \quad \text{mm}$$

$$\text{Jumlah injakan} = 27\text{buah, 9 tiap naikan}$$

$$\text{Jarak horizontal} = 2520 \quad \text{mm}$$

$$\text{Lebar injakan } (i) = 280 \quad \text{mm}$$

$$\text{Beda tinggi lantai ke bordes} = \frac{h}{3} = \frac{4320}{3} = 1440\text{mm}$$

$$\text{Tebal selimut beton} = 20 \quad \text{mm}$$

$$\text{Tebal pelat} = 150 \quad \text{mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Kemiringan tangga } (\alpha) &= \arctg \left(\frac{2520}{1440} \right) \\ &= 29.75^\circ \end{aligned}$$

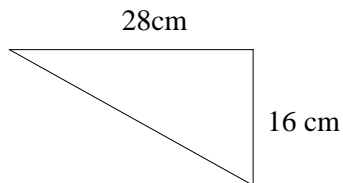
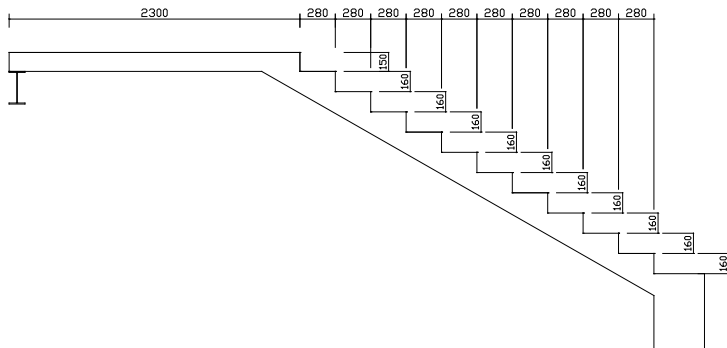
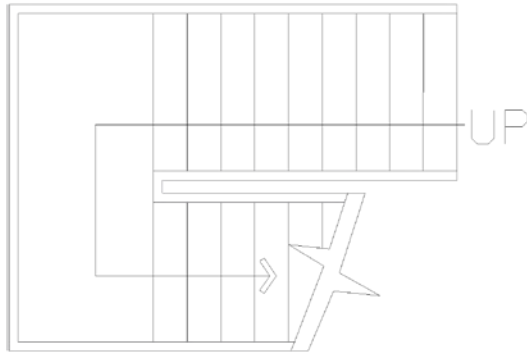
$$\text{Syarat kemiringan tangga} = 20 \leq \alpha \leq 40 \dots \text{OK}$$

$$\text{Tinggi pijakan } (t) = \frac{1440}{9} = 160\text{mm};$$

$$\text{Syarat Perencanaan} = 60 \leq 2.t + i \leq 65$$

$$= 60 \leq 2.t + 29.75 \leq 65$$

Maka diambil tinggi pijakan = 160 mm.



Gambar 5.17. Denah detail tangga

Perhitungan tebal pelat rata-rata = 169 mm

5.3.2 Perhitungan Pembebanan dan Analisa Struktur

a. Pembebanan Tangga

Beban Mati (qd)

Berat sendiri pelat	$= \frac{0,169}{\cos 29.745} \times 2400$ $\text{kg/m}^2 \times 1,5 \text{ m}$	$= 700.73 \text{ kg/m}$
Berat finishing	$= 100 \text{ kg/m}^2 \times 1.5 \text{ m}$	$= 150 \text{ kg/m}$
Berat total (qd)		$= 850,73 \text{ kg/m}$

Beban hidup (ql)

Beban hidup pada tangga = $300 \text{ kg/m}^2 \times 1.5 \text{ m} = 450 \text{ kg/m}$

Kombinasi Beban :

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= 1,2 \text{ qD} + 1,6 \text{ qL} \\
 &= 1,2 (850.73) + 1,6 (450) \\
 &= 1740.87 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

b. Pembebanan Pada Bordes

Beban Mati (qd)

Berat pelat	$= 0,15 \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 3,1 \text{ m}$	$= 1116 \text{ kg/m}$
Berat finishing	$= 100 \text{ kg/m}^2 \times 3,1$	$= 310 \text{ kg/m}$
Berat total (qd)		$= 1426 \text{ kg/m}$

Beban hidup

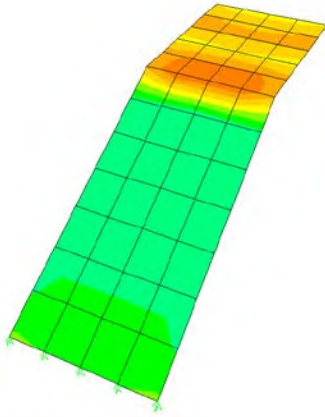
Beban hidup pada bordes $= 300 \text{ kg/m}^2 \times 3,1 = 930 \text{ kg/m}$

Kombinasi Beban :

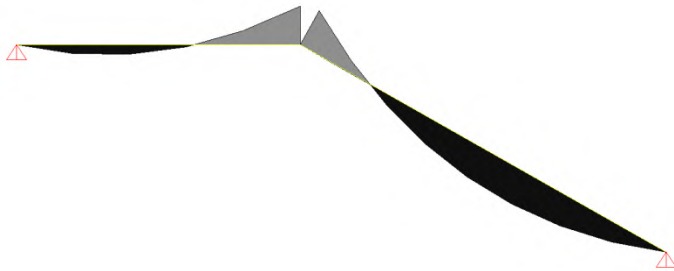
$$\begin{aligned}
 Q_{ult2} &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\
 &= 1,2 (1426) + 1,6 (930) \\
 &= 3199,2 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

5.3.3 Analisa Gaya-Gaya Dalam

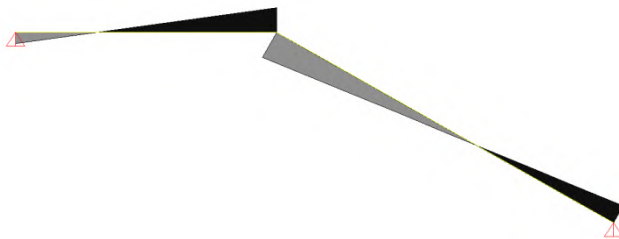
Analisa gaya dalam tangga dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP2000 v14.2.4, gaya dalam tangga ditampilkan dalam gambar distribusi gaya sebagai berikut:



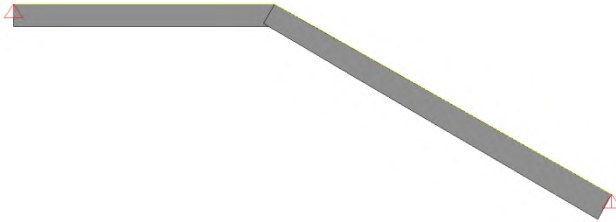
Gambar 5.18 Analisa gaya dalam tangga



Gambar 5.19. Diagram momen



Gambar 5.20. Diagram gaya geser



Gambar 5.21. Diagram gaya normal

5.3.4 Desain Tulangan Tangga dan Bordes

➤ Perhitungan Penulangan Pelat Tangga

Data-data perencanaan pelat tangga :

- Mutu beton f'_c = 30 MPa
- Mutu baja f_y = 400 MPa
- Tebal pelat tangga = 150 mm
- Decking = 20 mm
- Tulangan lentur = D 12 mm
- Tulangan susut = ϕ 10 mm
- Tinggi efektif (d) = $150 - 20 - (0,5 \times 12)$
= 124 mm

$$\beta_1 = 0,85 \quad \text{Jika } f'_c \leq 30 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'_c - 30) \text{ Jika } 30 \text{ MPa} \leq f'_c \leq 55 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,65$$

$$\text{Jika } f'_c \geq 55 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0.85$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)}$$

(SNI 03-2847-2002 ps. 10.4.3)

$$= \frac{0.85 \times 0.85 \times 30}{400} \times \frac{600}{(600 + 400)} = 0,032513$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}}$$

$$= 0,75 \times 0,032513 = 0,02438$$

(SNI 03-2847-2002 ps. 12.3.3)

$$\rho_{\text{min}} = 0.002$$

(SNI 03-2847-2002 ps. 9.12.2.1)

$$M_u = 6038 \text{ kgm} = 59,172,400 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d_x^2} = \frac{59,172,400}{0,8 \times 1000 \times 123,5^2} = 4.81$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15.686$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n m}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15.686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 4.81 \times 15.686}{400}} \right)$$

$$= 0,01344$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \rho_{\min} < \rho \text{ pakai} < \rho_{\max} . \\ &= 0,002 < 0,01344 < 0,02438 \dots \text{OK}\end{aligned}$$

$$\text{Dipakai } \rho = 0,01823$$

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho \times b \times d = 0,01344 \times 1000 \times 123,5 \\ &= 2261,686 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan perlu} = \frac{1000 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2}{2261,686} = 67,84$$

Dipasang tulangan D12-50

Perhitungan Penulangan Pelat Bordes

Data-data perencanaan pelat tangga :

- Mutu beton f'_c = 30 MPa
- Mutu baja f_y = 400 MPa
- Tebal pelat tangga = 150 mm
- Decking = 20 mm
- Tulangan lentur = D 13 mm
- Tulangan susut = ϕ 10 mm

$$\beta_1 = 0,85 \quad \text{Jika } f'_c \leq 30 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'_c - 30) \text{ Jika } 30 \text{ MPa} \leq f'_c \leq 55 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,65 \quad \text{Jika } f'_c \geq 55 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)}$$

(SNI 03-2847-2002 ps. 10.4.3)

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{400} \times \frac{600}{(600 + 400)} = 0,032513$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}}$$

$$= 0,75 \times 0,032513 = 0,02438$$

(SNI 03-2847-2002 ps. 12.3.3)

$$\rho_{\text{min}} = 0,002$$

(SNI 03-2847-2002 ps. 9.12.2.1)

$$M_u = 6038 \text{ kgm} = 59,172,400 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d_x^2} = \frac{59,172,400}{0,8 \times 1000 \times 123,5^2} = 4,81$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,686$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n m}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 4,81 \times 15,686}{400}} \right)$$

$$= 0,01344$$

$$\text{Syarat} = \rho_{\text{min}} < \rho \text{ pakai } < \rho_{\text{max}}$$

$$= 0,002 < 0,01344 < 0,02438 \text{OK}$$

Dipakai $\rho = 0,01823$

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho \times b \times d = 0,01344 \times 1000 \times 123.5 \\ &= 2261.686 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan perlu} = \frac{1000 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2}{2261.686} = 67.84$$

Dipasang tulangan D12-50

- Perencanaan dimensi balok bordes

Balok bordes direncanakan menggunakan baja profil WF 250 x 125 x 5 x 8, perhitungan kekuatannya dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP2000. Karena focus tugas akhir ini adalah penggunaan beton precast maka bukti bahwa kekuatan balok profil akan ditampilkan sebagai sebuah data tabel tanpa menyertakan perhitungannya.

Tabel 5.21. Output SAP2000 pada kekuatan baja.

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC-LRFD93				
No.	Frame	DesignSect	DesignType	Ratio
	Text	Text	Text	Unitless
1	1236	WF 250.125.5.8	Beam	0.895574
2	1238	WF 250.125.5.8	Beam	0.584444
3	1239	WF 250.125.5.8	Beam	0.828049
4	1235	WF 250.125.5.8	Beam	0.09502
5	1237	WF 250.125.5.8	Beam	0.587219
6	40	WF 250.125.5.8	Beam	0.496777
7	42	WF 250.125.5.8	Beam	0.560622
8	43	WF 250.125.5.8	Beam	0.583663
9	44	WF 250.125.5.8	Beam	0.588363
10	45	WF 250.125.5.8	Beam	0.589058
11	47	WF 250.125.5.8	Beam	0.600309
12	51	WF 250.125.5.8	Beam	0.608218
13	52	WF 250.125.5.8	Beam	0.613631
14	54	WF 250.125.5.8	Beam	0.61139
15	55	WF 250.125.5.8	Beam	0.640389
16	109	WF 250.125.5.8	Beam	0.326329
17	110	WF 250.125.5.8	Beam	0.382773
18	111	WF 250.125.5.8	Beam	0.398098
19	112	WF 250.125.5.8	Beam	0.399841
20	113	WF 250.125.5.8	Beam	0.399479
21	114	WF 250.125.5.8	Beam	0.405187
22	115	WF 250.125.5.8	Beam	0.408996
23	116	WF 250.125.5.8	Beam	0.412103
24	117	WF 250.125.5.8	Beam	0.412354
25	118	WF 250.125.5.8	Beam	0.440631
26	108	WF 250.125.5.8	Beam	0.404448

5.3.5 Perhitungan Tulangan Angkat

Elemen tangga diangkat dengan mengasumsikan sebagai pelat. Tegangan ijin untuk pengangkatan pada

saat *stripping*, *rotating*, dan *storage* dengan asumsi usia beton pada saat pengangkatan adalah 3 hari :

(Koefisien didapat dari Tabel 4.1.4 Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971) :

$$f'_{ci} = 0,4 \times f'_c = 0,4 \times f'_c = 0,4 \times 40 = 16 \text{ Mpa}$$

$$f'_r = 0,7 \times \sqrt{f'_{ci}} = 0,7 \times \sqrt{16} = 2,8 \text{ Mpa}$$

Tegangan ijin untuk pengangkatan pada saat erection dengan asumsi usia beton sudah mencapai 28 hari :

$$f'_r = 0,7 \times \sqrt{f'_c} = 0,7 \times \sqrt{40} = 4,43 \text{ Mpa}$$

a. Kontrol tegangan angkat pada saat *striping*

- *Longitudinal Bending*

Dengan menggunakan 4 titik angkat, maka:

$$w = 1,2 \times 0,20 \times 2400 = 576 \text{ kg/m}^2 \text{ (w = weight per unit area)}$$

$$\frac{a}{2} = \frac{1,8}{2} = 0,9 \text{ m}$$

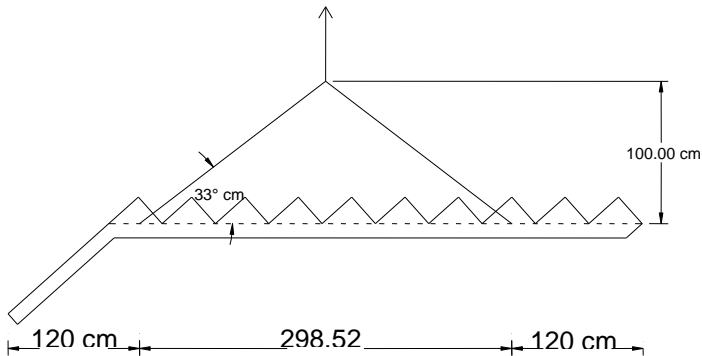
$$Z = \frac{1}{6} \times \frac{a}{2} \times t^2 = \frac{1}{6} \times \frac{1,8}{2} \times 0,20^2 = 0,006 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} M_y &= 0,0107 \times w \times a \times b^2 \\ &= 0,0107 \times 576 \times 2,0 \times 5,38^2 \\ &= 321,1 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$f_t = f_b = \frac{M_y}{Z} = \frac{321,1}{0,006} = 53516,67 \text{ kg/m}^2$$

$$f_t = 0,525 \text{ Mpa} < f_r = 2,8 \text{ Mpa} \rightarrow \text{OK!}$$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan :



Gambar 5.22 Letak Titik Angkat Tangga

$$y_c = \frac{t}{2} + 3'' \rightarrow 3'' = 0,0762 \text{ m}$$

$$y_c = \frac{0,20}{2} + 0,0762 = 0,1762 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_y &= \frac{P y_c}{\tan \theta} = \frac{(W a b) y_c}{\tan \theta} \times \frac{1}{8} \\ &= \frac{(576 \times 2,0 \times 4,50) 0,1762}{\tan 33^\circ} \times \frac{1}{4} = 351,64 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_{y\text{total}} = 249,61 + 351,64 = 601,25 \text{ kgm}$$

$$f' = \frac{M_{y\text{total}}}{Z} = \frac{601,25}{0,006} = 89738,81 \text{ kgm}$$

$$= 0,89 \text{ Mpa} < f'_r = 2,619 \text{ Mpa.... OK!!!!}$$

- *Transverse Bending*

Dengan menggunakan 4 titik angkat, maka :

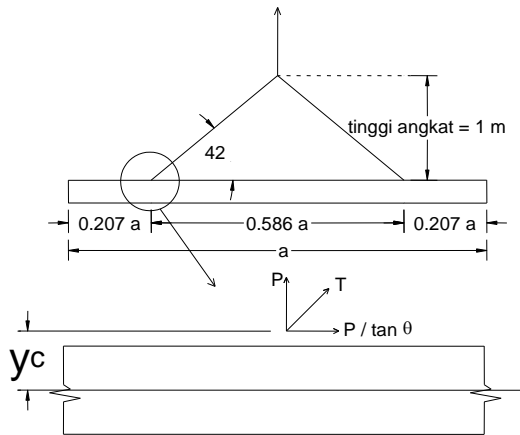
$$w = 1,2 \times 0,20 \times 2400 = 576 \text{ kg/m}^2 \text{ (w = weight per unit area)}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{b}{2} &= \frac{4,5}{2} = 2,25 \text{ m} \\ 15 t &= 15 \times 0,20 = 3,0 \text{ m} \end{aligned} \right\} \text{ yang menentukan 2,25 cm}$$

$$\begin{aligned} Z &= \frac{1}{6} \times \left(\frac{b}{2}\right) \times t^2 \\ &= \frac{1}{6} \times 2,25 \times 0,20^2 \\ &= 0,015 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_x &= 0,0107 \times w \times a^2 \times b \\ &= 0,0107 \times 576 \times 2,0^2 \times 4,5 \\ &= 110,94 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Momen tambahan akibat sudut pengangkatan :



Gambar 5.23 Kemiringan Titik Angkat Tangga

$$y_c = 0,1762 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_x &= \frac{P y_c}{\tan \theta} = \frac{(W a b) y_c}{\tan \theta} \times \frac{1}{8} \\ &= \frac{(576 \times 2,0 \times 4,5) 0,1762}{\tan 42} \times \frac{1}{4} = 253,61 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_{x\text{total}} = 110,94 + 253,61 = 364,55 \text{ kgm}$$

$$f^* = f_b = \frac{M_x}{Z} = \frac{364,55}{0,015} = 24303,61 \text{ kg/m}^2$$

$$f^* = 0,25 \text{ Mpa} < f_r = 2,619 \rightarrow \text{OK!}$$

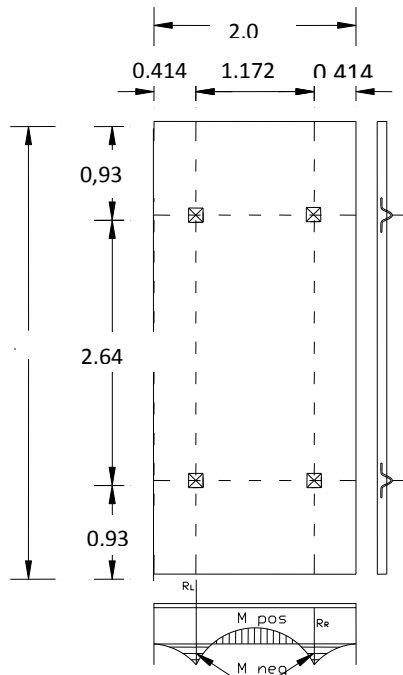
b. Kontrol tegangan angkat pada saat *turning* :

$$\frac{b}{4} = \frac{4,50}{4} = 1,125 \text{ myang} \left. \vphantom{\frac{b}{4}} \right\} \text{menentukan } 1,125 \text{ m}$$

$$15 \text{ t} = 15 \times 0,20 = 3,0 \text{ m}$$

$$W = 1,2 \times 0,20 \times 2400 \times \frac{b}{4} = 648 \text{ kg/m}$$

$$Z = \frac{1}{6} \times \left(\frac{b}{4}\right) \times t^2 = \frac{1}{6} \times (1,125) \times 0,20^2 = 0,0075 \text{ m}^3$$



Gambar 5.24 Denah Titik Angkat Tangga

$$\Xi_{MR} = 0$$

$$R_L \times 1,172 - \frac{1}{2} W (1,586^2 - 0,414^2) = 0$$

$$R_L \times 1,172 - \frac{1}{2} 648 (2,34) = 0$$

$$R_L = R_R = \frac{758,16}{1,172} = 646,894 \text{ kg}$$

$$M_a = \frac{1}{2} W 0,414^2 = \frac{1}{2} (648) 0,414^2 = 55,44 \text{ kgm}$$

$$M_b \text{ maksimum berada pada } \frac{R_L}{W} = \frac{646,894}{648} = 0,99$$

$$\begin{aligned} M_b &= R_L (0,99 - 0,414) - 0,5 W 0,99^2 \\ &= 646,894 (0,576) - 0,5 (648) 0,99^2 = 55,06 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$f_{\text{maks 28hari}} = 4,141 \text{ Mpa}$$

$$f_a = \frac{M_a}{Z} = \frac{55,44}{0,0075} = 7392 \text{ kg/m}^2$$

$$= 0,07 \text{ Mpa} < f_{\text{maks 28hari}} \rightarrow \text{OK!}$$

$$f_b = \frac{M_b}{Z} = \frac{55,06}{0,0075} = 7341,33 \text{ kg/m}^2$$

$$= 0,073 \text{ Mpa} < f_{\text{maks 28hari}} \rightarrow \text{OK!}$$

c. Perhitungan kabel angkat

Beban yang bekerja pada pelat lantai pracetak :

$$\text{- Berat sendiri} : 0,20 \times 2400 = 480 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Stud} & : 1\% \times 480 = 4,8 \text{ kg} \\
 & \text{Berat mati} = 484,8 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Beban Ultimate :

$$W = 1,4 \times 484,8 = 678,72 \text{ kg}$$

Beban ultimate yang dipikul masing-masing titik angkat :

$$P = \frac{W}{n} = \frac{678,74}{4} = 169,68 \text{ kg}$$

Berdasarkan tabel Design Aid 11.2.3 PCI Design Handbook, didapatkan data Kabel untuk pengangkatan :

- Kabel Strand (seven wire) diameter 1/4 in = 6,35 mm
- f_{pu} : 250 ksi = 1723,8 MPa (1 ksi = 6,895 Mpa)
- A : $0,036 \text{ in}^2 = 23,227 \text{ mm}^2$ (1 sq in = 645,2 sqmm)

Gaya yang harus dipikul oleh satu strand (satu titik angkat) :

$$F_{1 \text{ strand}} = A f_{pu} = 23,227 \text{ mm}^2 \times 1723,8 \text{ Mpa} = 4003,8 \text{ kg}$$

Beban ijin untuk satu strand (PCI Design handbook 5.2.5) :

$$F_{ijin} = \frac{4003,8}{4} = 1000,9 \text{ kg}$$

$$P < F_{ijin} = 195,132 \text{ kg} < 1000,9 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

Jadi untuk satu angkat pelat lantai digunakan Seven Wire Strand diameter 1/4 in.

5.4 Perencanaan Balok Lift

5.4.1 Data Perencanaan

Perencanaan yang dilakukan pada lift ini meliputi balok-balok yang berkaitan dengan mesin lift. Pada bangunan ini digunakan lift penumpang yang diproduksi oleh YOUNG JIN Elevator dengan data-data sebagai berikut :

Tipe lift : Passanger Elevator

Kapasitas : 15 orang (1000 kg)

Kecepatan : 45 m/min

Lebar pintu : 1000 mm

Dimensi ruang luncur : $2150 \times 2900 \text{ mm}^2$

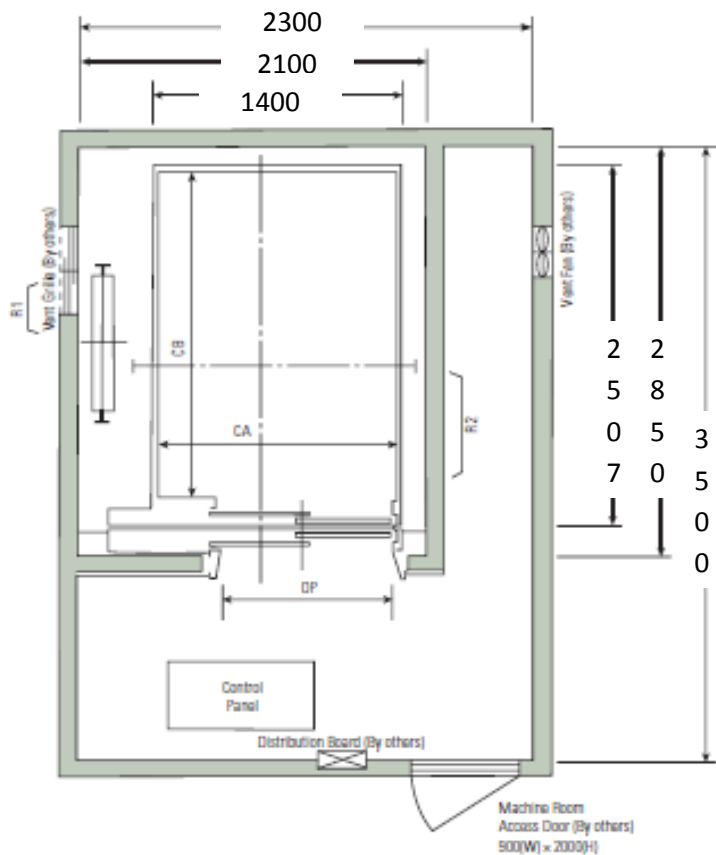
Dimensi sangkar (car size)

- Outside : $1660 \times 1655 \text{ mm}^2$
- Inside : $1600 \times 1700 \text{ mm}^2$

Beban reaksi ruang mesin :

$$R_1 = 5450 \text{ kg}$$

$$R_2 = 4500 \text{ kg}$$



Gambar 5.25 Denah Sangkar Lift

5.22.
lift.

5.26
Balok

135

Perencanaan dimensi balok lift :

- Balok penumpang depan

$$h = \frac{1}{16} \times l = \frac{1}{16} \times 800 = 50 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 50 \approx 30 \text{ cm}$$

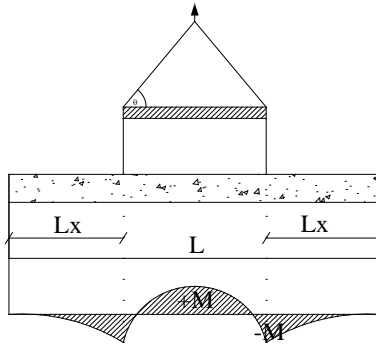
- Balok Pemisah sangkar I dan II

$$h = \frac{1}{16} \times l = \frac{1}{16} \times 350 = 21.87 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 30 = 20 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$

5.4.2 Pengangkatan Balok Lift

Balok lift dibuat secara pracetak dipabrik. Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.



Gambar 5.27 Momen Saat Pengangkatan Balok Lift

Dimana :

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta} \right)$$

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Yb} \left(1 + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta} \right)} \right)}$$

Contoh perhitungan :

$$Y_t = Y_b = \frac{(50-13)}{2} = 18,5 \text{ cm}$$

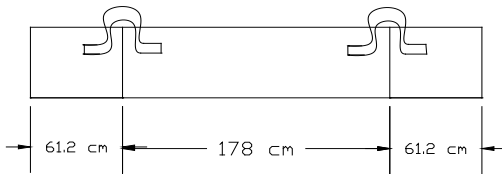
$$Y_c = Y_t + 3'' = 26,12 \text{ cm}$$

$$I = \frac{1}{12} x 30 x 37^3 = 126632,50 \text{ cm}^4$$

Dengan $L = 500 \text{ cm}$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 26,12}{300 \times \tan 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{18,5}{18,5} \left(1 + \frac{4 \times 26,12}{300 \times \tan 45^\circ} \right)} \right)} = 0,204$$

$$X \times L = 0,204 \times 500 = 61,2 \text{ cm}$$



Data – data profil baja :

- Mutu baja = Bj 36
- Profil = WF 100 x 100 x 6 x 8
- Panjang tekuk = 110,4 cm

$$A = 21,9 \text{ cm}^2$$

$$i_s = 4,18 \text{ cm}$$

$$i_y = 2,47 \text{ cm}$$

$$w = 17,2 \text{ kg/m}$$

Pembebanan

$$\text{Balok} = 0,50 \times 0,57 \times 3,0 \times 2400 = 799,20 \text{ kg}$$

$$\text{Balok Profil} = 17,2 = \underline{17,20 \text{ kg}}$$

\pm

$$= 816,40 \text{ kg}$$

$$T \sin \emptyset = P = \frac{WF}{2} = \frac{1,41 \times 816,40}{2} = 575,56 \text{ kg}$$

$$T = \frac{575,56}{\sin 45} = 813,97 \text{ kg}$$

Tulangan Angkat Balok Melintang

$$P_u = 813,97 \text{ kg}$$

Menurut PBBI pasal 2.2.2. tegangan ijin tarik dasar baja bertulang mutu $f_y = 400 \text{ Mpa}$ adalah $f_y/1,5$

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = 4000/1,5 = 2666,67 \text{ kg/m}^2$$

$$\emptyset_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{\text{ijin}} \times \pi}}$$

$$\emptyset_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{813,97}{2666,67 \times \pi}}$$

$$\emptyset_{\text{tulangan angkat}} \geq 0,51 \text{ cm}$$

Digunakan Tulangan $\emptyset 10 \text{ mm}$

Momen Yang Terjadi

- **Pembebanan**

$$\text{Balok} = 0,50 \times 0,57 \times 2400 = 266,40 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok profil} &= 17,2 &= \underline{17,2 \text{ kg/m}} + \\ & &= 283,60 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2 :

- Momen Lapangan

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta} \right)$$

$$+M = \left(\frac{283,60 \times 3,0^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,207 + \frac{4 \times 0,185}{3,0 \times \operatorname{tg} 45} \right) \right) \times 1,2$$

$$= 160,29 \text{ kgm}$$

Tegangan yang terjadi :

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{160,29 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 300 \times 370^2}$$

$$= 0,234 \text{ Mpa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 4,14 \text{ Mpa} \dots \text{Ok}$$

- Momen Tumpuan

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$-M = \left(\frac{283,60 \times 0,207^2 \times 3,0^2}{2} \right) \times 1,2 = 65,62 \text{ kgm}$$

Tegangan yang terjadi :

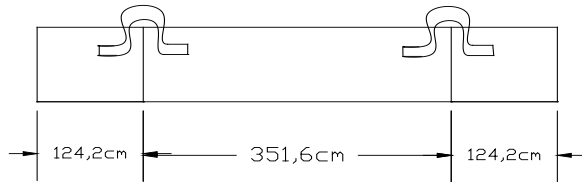
$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{65,62 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 300 \times 370^2}$$

$$= 0,098 \text{ Mpa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 4,14 \text{ Mpa} \dots \text{Ok}$$

Dengan L = 600 cm

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 23,5}{600 \times \tan 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{18,5}{18,5} \left(1 + \frac{4 \times 23,5}{600 \times \tan 45^\circ} \right)} \right)} = 0,207$$

$$X \times L = 0,207 \times 600 = 124,2 \text{ cm}$$



Data – data profil baja :

- Mutu baja = Bj 36
- Profil = WF 100 x 100 x 6 x 8
- Panjang tekuk = 110,4 cm
- A = 21,9 cm²
- i_s = 4,18 cm
- i_y = 2,47 cm
- w = 17,2 kg/m

Pembebanan

$$\text{Balok} = 0,50 \times 0,57 \times 6,0 \times 2400 = 1598,4 \text{ kg}$$

$$\text{Balok Profil} = 17,2 = \underline{17,2 \text{ kg}}$$

\pm

$$= 1615,6 \text{ kg}$$

$$T \sin \emptyset = P = \frac{WF}{2} = \frac{1,4 \times 1615,6}{2} = 1130,92 \text{ kg}$$

$$T = \frac{1130,92}{\sin 45} = 1599,36 \text{ kg}$$

Tulangan Angkat Balok

$$P_u = 1599,36 \text{ kg}$$

Menurut PBBI pasal 2.2.2. tegangan ijin tarik dasar baja bertulang mutu $f_y = 400 \text{ Mpa}$ adalah $f_y/1,5$

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = 4000/1,5 = 2666,67 \text{ kg/m}^2$$

$$\emptyset_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{\text{ijin}} \times \pi}}$$

$$\emptyset_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{1599,36}{2666,67 \times \pi}}$$

$$\emptyset_{\text{tulangan angkat}} \geq 0,44 \text{ cm}$$

Digunakan Tulangan $\emptyset 10 \text{ mm}$

Momen Yang Terjadi

- **Pembebanan**

$$\text{Balok} = 0,50 \times 0,57 \times 2400 = 266,40 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}\text{Balok profil} &= 17,2 &= \underline{17,2 \text{ kg/m}} + \\ & &= 283,60 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2 :

- Momen Lapangan

$$\begin{aligned}+M &= \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \text{tg} \theta} \right) \\ +M &= \left(\frac{283,60 \times 6,0^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,207 + \frac{4 \times 0,185}{6,0 \times \text{tg} 45} \right) \right) \times 1,2 \\ &= 452,28 \text{ kgm}\end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi :

$$\begin{aligned}f &= \frac{M}{W_t} = \frac{452,8 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 600 \times 370^2} \\ &= 0,53 \text{ Mpa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 4,14 \text{ Mpa} \dots \text{Ok}\end{aligned}$$

- Momen Tumpuan

$$\begin{aligned}-M &= \frac{WX^2L^2}{2} \\ -M &= \left(\frac{283,60 \times 0,207^2 \times 6,0^2}{2} \right) \times 1,2 = 262,48 \text{ kgm}\end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi :

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{262,48 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 600 \times 370^2}$$

$$= 0,19 \text{ Mpa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f'c} = 4,14 \text{ Mpa} \dots \text{Ok}$$

Dari perhitungan momen diatas, didapatkan nilai f' akibat momen positif dan negatif berada dibawah nilai $f'_{r_{ijin}}$ usia beton 3 hari. Jadi dapat ditarik kesimpulan, balok anak tersebut aman dalam menerima tegangan akibat pengangkatan.

5.4.3 Kontrol Lendutan dan Retak

- **Kontrol Lendutan**

Komponen struktur beton yang mengalami lentur harus dirancang agar memiliki kekakuan cukup untuk batas deformasi yang akan memperlemah kemampuan layan struktur saat bekerja. Sesuai SNI 03-2847-2002 tabel 8, syarat tebal minimum balok apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut :

Balok dengan dua tumpuan

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times Lb$$

Lendutan tidak perlu dihitung sebab sejak preliminary design telah direncanakan agar tinggi dari masing-masing tipe balok lebih besar dari persyaratan h_{\min} .

- **Kontrol Retak**

Distribusi tulangan lentur harus diatur sedemikian hingga untuk membatasi retak lentur yang terjadi, bila tegangan leleh rencana f_y untuk tulangan tarik melebihi 500 MPa, penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus diproporsikan sedemikian hingga nilai Z yang diberikan oleh :

$$Z = f_s x \sqrt{d_c \times A} \text{ SNI 03-2847-2002 pasal 12.6.4}$$

Tidak melebihi 30 MN/m untuk penampang didalam ruangan

f_s = tegangan dalam tulangan yang dihitung pada beban kerja, f_s dapat diambil $0,6 f_y$

$$f_s = 0,6 \times 400 \text{ Mpa} = 240 \text{ Mpa}$$

d_c = tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan (decking + $\frac{1}{2}$ jari-jari tulangan)

$$d_c = 40 + 10 + \frac{1}{2} (19) = 59,5 \text{ mm}$$

A = Luas efektif beton ditarik disekitar tulangan lentur tarik dan mempunyai titik pusat yang sama dengan titik pusat tulangan (pada hal ini diambil

selebar 1 m) tersebut dibagi dengan jumlah batang tulangan dalam 1 m tersebut.

- Untuk Daerah Tumpuan

$$A = \frac{2 \times d_c \times b}{n} = \frac{2 \times 0,0595 \times 0,30}{2} = 0,01785 \text{ m}^2$$

$$Z = f_s \times \sqrt{d_c \times A} = 240 \times \sqrt{0,0595 \times 0,01785}$$

$$= 7,82 \text{ MN/m} \leq 30 \text{ MN/m} \dots\dots \text{Ok}$$

- Untuk Daerah Lapangan

$$A = \frac{2 \times d_c \times b}{n} = \frac{2 \times 0,0595 \times 0,30}{2} = 0,01785 \text{ m}^2$$

$$Z = f_s \times \sqrt{d_c \times A} = 240 \times \sqrt{0,0595 \times 0,01785}$$

$$= 7,82 \text{ MN/m} \leq 30 \text{ MN/m} \dots\dots \text{Ok}$$

BAB VI

PERENCANAAN PEMBEBANAN GEMPA

6.1 Perencanaan Pembebanan Gempa

Di dalam analisa struktur, struktur utama merupakan suatu komponen utama dimana kekakuannya mempengaruhi perilaku gedung tersebut. Dalam hal ini beban gempa rencana dicek terhadap kontrol – kontrol sesuai peraturan gempa yaitu SNI 03-1726-2012, dimana kontrol – kontrol tersebut terdiri dari kontrol nilai gaya geser dasar (*base shear*), waktu getar alami fundamental (T), dan simpangan (*drift*).

6.2 Data-Data Perencanaan

Data-data perancangan Gedung Horel menur adalah sebagai berikut :

Mutu beton (f_c')	: 30	Mpa
Mutu baja tulangan (f_y)	: 400	Mpa
Mutu tulangan sengkang	: 240	Mpa
Fungsi bangunan	: Hotel	
Tinggi bangunan	: 43.64	m
Jumlah tingkat	: 12	
Tinggi tiap tingkat	: 4.32 dan 3.5	m

6.3 Perhitungan Berat Struktur

Pembebanan gravitasi struktur pada Sistem Rangka Pemikul Momen hanya diterima oleh frame. Pembebanan ini termasuk beban mati dan beban hidup yang terjadi pada struktur.

Pembebanan Gravitasi

Beban Mati (DL)

Yakni beban akibat struktur utama ditambah beban mati tambahan (*superimposed dead load*) seperti beban finishing yang didapat dari program SAP 2000 v14:

$$DL = 10,470,904.94 \text{ Kg}$$

Beban Hidup (LL)

Yakni beban akibat keberadaan benda baik makhluk hidup atau mati yang bersifat tidak menetap yang didapat dari program SAP 2000 v14. Beban ini hanya akan diambil sebesar :

$$LL = 2,148,796.47 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{total bangunan}} &= DL + 0.5 \times LL \\ &= 10,470,904.94 + 2,148,796.47 \times 0.5 \\ &= 11.545,303.18 \text{ kg} \end{aligned}$$

6.4 Analisa Beban Gempa

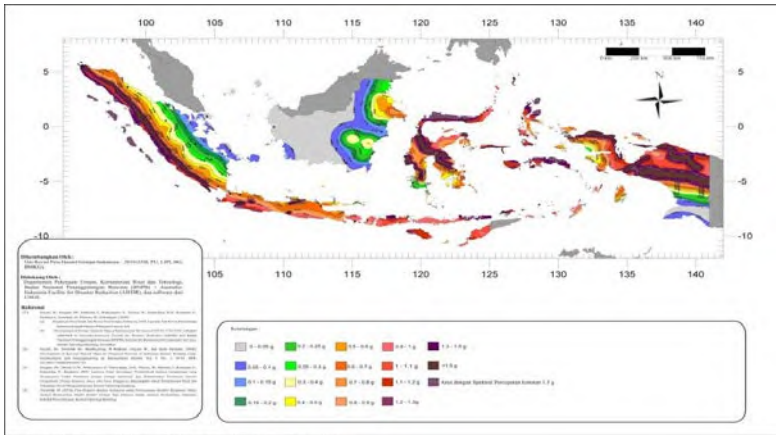
Berikut adalah analisa beban gempa sesuai peraturan gempa terbaru.

6.4.1 Penentuan kelas situs

Dengan menganalisa data tanah maka didapati bahwa lokasi memiliki tanah yang sangat keras. Maka berdasarkan Tabel 3 klasifikasi situs pada SNI 1726-2012 didapati bahwa kelas situs adalah SC. Dan dengan melihat pada tabel 9 Faktor R , C_d dan Ω_o untuk sistem penahan gempa, maka diketahui bahwa sistem struktur SRPMM diijinkan dan $R = 5$

6.4.2 Percepatan Respon Spektrum (MCE)

Penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada Gambar 6.1 dan Gambar 6.2 :



Parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 0,2 detik dalam g, (5% redaman kritis), Kelas situs SC. Dari gambar 6.1 untuk daerah Balikpapan didapatkan nilai $S_s = 0,245$.

Parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 1 detik dalam g (5% redaman kritis), kelas situs SC. Dari gambar 6.2 untuk wilayah Balikpapan $S_1 = 0,083$ g.

Untuk nilai F_a (koefisien situs untuk periode 1,2 detik) dan F_v (koefisien situs untuk periode 1.7 detik) yang didapat dari Tabel 6.1 dan Tabel 6.2.

Tabel 6.1 Koefisien Situs F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

CATATAN :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
 (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat Pasal 6.9.1

Tabel 6.2 Koefisien Situs F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

CATATAN :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
 (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat Pasal 6.9.1

Dari data diatas diperoleh data-data sebagai berikut :

$$S_s = 0,50$$

$$\begin{aligned}
S_1 &= 0,20 \\
F_a &= 1,4 \\
F_v &= 1.7 \\
S_{MS} &= F_a \times S_s \\
&= 0.294
\end{aligned}$$

(SNI 03-1726-2012 Pers. 6.2-1)

$$\begin{aligned}
S_{M1} &= F_v \times S_1 \\
&= 0.14
\end{aligned}$$

(SNI 03-1726-2012 Pers. 6.2-2)

6.4.3 Parameter Percepatan Respons Spektral

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0.294 = 0,196$$

(SNI 03-1726-2012 Pers. 6.2-3)

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,14 = 0,094$$

(SNI 03-1726-2012 Pers. 6.2-4)

6.4.4 Periode Waktu Getar Alami Fundamental (T)

Ta = periode fundamental pendekatan

$$T_a = C_t h_n^x$$

Koefisien Ct dan x ditentukan dari Tabel 6.3 SNI 03-1726-2012 (Tabel 7.8-2)

Tabel 6.3 Nilai Parameter Periode Pendekatan Ct dan x

TipeStruktur	C_t	X
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		

Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

Tabel 6.4 Koefisien untuk Batas Atas dari Periode yang di hitung

Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

$$C_u = 1,7$$

$$h_n = 43.64 \text{ m}$$

$$C_t = 0,0466$$

$$x = 0,9$$

$$T_a = 0,466 \times (43.64)^{0,9} = 1,394$$

$$T = T_a \times C_u = 1,394 \times 1,7 = 2,3699 \text{ s}$$

6.4.5 Koefisien Respon Seismik (C_s)

Koefisien respon seismik C_s harus ditentukan sesuai dengan SNI 03-1726-2012 Persamaan 7.8-2.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Dengan :

S_{DS} = percepatan spektrum respons disain dalam rentan periode pendek.

R = faktor modifikasi respons dalam tabel 7.2-1 (SNI 03-1726-2012)

I_e = faktor keutamaan hunian yang ditentukan sesuai dengan Tabel 2 (SNI 03-1726-2012)

Tabel 6.5 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

Nilai R yang dipakai yaitu R untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah = 5.

$$C_s = \frac{0,196}{\left(\frac{5}{1}\right)}$$

$$C_s = 0,0392$$

Dan nilai C_s tidak lebih dari

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_s = \frac{0,094}{\left(\frac{5}{1}\right)^{2,3699}} = 0,007933$$

Maka nilai C_s diambil 0,007933

6.4.6 Perhitungan Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Gaya geser yang telah didapatkan dari perhitungan sebelumnya didistribusikan secara vertikal ke masing-masing lantai sesuai dengan SNI 03-1726-2012.

$$V = C_s \times W$$

Dengan :

C_s = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.1.1

W = berat seismik efektif menurut SNI 03-1726-2012 Pasal 7.7.2.

$$V = C_s \times W$$

$$\begin{aligned} V &= 0,03929 \times 11.545,303.18 \text{ kg} \\ &= 91,586.63 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dari SAP 2000 v14 didapati bahwa:

$$V_x = 95,584 \text{ Kg}$$

$$V_y = 88,767.72 \text{ Kg}$$

Dengannya maka gempa arah Y perlu diperbesar sebesar:
 $91,586.63/88,767.72 = 1.032$

Setelah diperbesar, dari SAP 2000 v14 didapati bahwa

$$V_x = 95,584 \text{ Kg}$$

$$V_y = 91,608.29 \text{ Kg}$$

6.4.7 Perhitungan Kuat Geser

Perhitungan kuat geser dilakukan untuk mengecek kebutuhan dinding struktur pada bangunan. Perhitungan ini dilakukan sebagai kontrol luas penampang kolom terhadap kuat geser yang bekerja pada komponen struktur khususnya pada kolom. Gaya geser terbesar yang bekerja pada struktur gedung terdapat pada kolom bawah. Besarnya gaya geser yang bekerja

didapat dari analisis *running* etabs dengan kombinasi pembebanan sesuai SNI 03-2847-2002. Nilai maksimum dari semua *combo* didapatkan nilai 4741,84 kg pada kombinasi 1.2 D + 1L ± 1E_x.

Gaya geser yang bekerja pada irisan penampang kolom disebut sebagai tegangan geser (τ). Tegangan geser yang bekerja pada oleh komponen tersebut dibandingkan dengan kekuatan beton dalam memikul beban geser V_c (tegangan geser bahan). Untuk penampang persegi tegangan geser maksimum yang bekerja adalah sebesar $\tau = \frac{3V}{2A}$ dimana V adalah gaya geser yang

bekerja pada kolom akibat beban dan A adalah luas penampang kolom sesuai hasil pre eliminary desain yaitu 80×80 cm. Apabila kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton tidak mampu menanggung beban geser yang terjadi tulangan komponen kolom pun juga terkadang memberikan sumbangan terhadap gaya geser yang bekerja. Nilai τ_{\max} sebagai berikut

$$\tau = \frac{3V}{2A} = \frac{3 \times 4741,84}{2 \times 6400} = 1,111 \text{ kg/m}^2 = 0,111 \text{ MPa}$$

Sedangkan kekuatan bahan dalam menerima tegangan geser dibagi menjadi dua yaitu kuat geser yang disumbangkan oleh komponen beton dan oleh tulangan geser. Kuat geser yang disumbangkan oleh beton pada komponen struktur yang dibebani tekan aksial adalah sebagai berikut (SNI 03-2847-2002 Ps 13.3.1.2)

$$V_c = (1 + \frac{N_u}{14A_g}) \frac{\sqrt{f_c'}}{6}$$

Dimana :

V_c = kuat geser yang disumbangkan oleh beton

N_u = beban aksial berfaktor yang diterima komponen struktur saat preliminary (558201,60 kg)

A_g = luas kolom tanpa rongga

N_u/A_g dalam Mpa.

$$V_c = \left(1 + \left(\frac{558201,60}{14 \times 80^2} \right) \times 0,1 \right) \frac{\sqrt{35}}{6} = 1,60 \text{ kg/cm}^2 > \tau \text{ (ok)}$$

Jadi dalam perencanaan tidak membutuhkan dinding geser.

6.4.8 Kontrol Drift

Untuk kontrol drift pada SNI 03-1726-2012, dirumuskan sebagai berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I}$$

Dimana:

δ_x = defleksi pada lantai ke-x

C_d = faktor pembesaran defleksi (= 4,5)

I = factor keutamaan gedung (= 1,25)

Untuk drift dibatasi sebesar:

$$\Delta = 0,015h_{sx}$$

$$= 0,015 \times 3500$$

$$= 87,5 \text{ mm (untuk tingkat 1 – 12)}$$

Kontrol simpangan struktur terhadap kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit dapat dilihat pada Tabel 6.7 dan Tabel 6.8.

Tabel 6.6 Kontrol kinerja struktur akibat beban gempa statik
ekivalen arah sumbu Y

Lantai	hi	δ_{xe}	δ_x	Syarat drift	Cek
	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	
12	43.64	38.32	9.19	87.5	OK
11	40.14	36.27	10.17	87.5	OK
10	36.64	34.01	11.04	87.5	OK
9	33.14	31.56	11.74	87.5	OK
8	29.64	28.95	12.32	87.5	OK
7	26.14	26.21	12.81	87.5	OK
6	22.64	23.37	13.26	87.5	OK
5	19.14	20.42	13.86	87.5	OK
4	15.64	17.34	15.30	87.5	OK
3	12.14	13.94	18.87	87.5	OK
2	8.64	9.75	28.60	108	OK
1	4.32	3.39	15.26	108	OK

Tabel 6.7 Kontrol kinerja struktur akibat beban gempa statik
ekivalen arah sumbu X

Lantai	hi	δ_{xe}	δ_x	Syarat drift	Cek
	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	
12	43.64	22.30	2.57	87.5	OK
11	40.14	21.73	3.39	87.5	OK
10	36.64	20.97	4.63	87.5	OK
9	33.14	19.95	5.61	87.5	OK
8	29.64	18.70	6.53	87.5	OK
7	26.14	17.25	7.41	87.5	OK
6	22.64	15.60	8.26	87.5	OK
5	19.14	13.76	9.10	87.5	OK
4	15.64	11.74	10.13	87.5	OK
3	12.14	9.49	12.27	87.5	OK
2	8.64	6.77	18.96	108	OK
1	4.32	2.55	11.48	108	OK

6.4.9 Kontrol Partisipasi Massa

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 Ps. 7.9.1 jumlah ragam yang ditinjau dalam penjumlahan respons ragam harus sedemikian

rupa sehingga partisipasi massa ragam terkombinasi dalam menghasilkan respons total harus mencapai sekurang – kurangnya 90 %.

Tabel 6.8. Partisipasi Masa Ragam Terkombinasi

OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
MODAL	Acceleration	UX	99.9892	96.072
MODAL	Acceleration	UY	99.9849	94.6801
MODAL	Acceleration	UZ	7.3216	2.9753

BAB VII

ANALISA STRUKTUR PRIMER

7.1 Perancangan Balok Induk

7.1.1 Penulangan Lentur Balok Induk L

Balok induk yang direncanakan adalah balok induk dengan sistem pracetak. Oleh karena itu, penulangan lentur balok ini harus memperhatikan dua kondisi, yaitu kondisi sebelum komposit dan setelah komposit. Dari dua kondisi tersebut dipilih tulangan yang lebih kritis untuk digunakan pada penulangan balok induk tersebut.

Data Perencanaan :

Mutu beton (f'_c) : 30 Mpa

Mutu baja tulangan (f_y) : 400 Mpa

Dimensi Balok Induk : 40/70 cm²

7.1.1.1 Penulangan Ledge

Pada kondisi sebelum pemasangan, balok pracetak dimodelkan sebagai balok L yang pada bagian ledge-nya ditumpu pelat *hollow core*. Beban-beban yang digunakan untuk menghitung tulangan pada ledge adalah beban ultimate karena ledge akan terus ada dan berfungsi menyalurkan beban pelat ke balok. Sedangkan untuk perhitungannya, beban-beban merata yang diterima oleh balok induk akan dihitung sebagai beban dengan konsep tributari area. Dan dengan bantuan program SAP 2000

a. Desain kuat geser ledge

Balok yang akan diperlihatkan perhitungannya adalah balok B4, dan hasil perhitungan balok lainnya akan ditabelkan

ϕ	=	0.75	
h_l	=	477	mm, (tinggi ledge)
b	=	400	mm, (lebar balok)
b_l	=	550	mm, (lebar balok + ledge)
b_t	=	1200	mm, (lebar area tumpu); cek untuk beban tumpu:
s	=	0	mm, (jarak antar beban terpusat)
d_e	=	600	mm, (jarak antara pusat beban ke ujung balok)
f'_c	=	30	MPa
λ	=	1	, (koefisien untuk beton ringan)

$$f'_c = 4350 \text{ Psi}$$

$$h_l = 19 \text{ inch}$$

Kuat geser ledge bila bebannya menerus atau berspasi kecil

$$\phi V_n = 24 \cdot \phi \cdot \lambda \cdot (f'_c)^{0.5} \cdot h_l$$

$$\implies \text{PCI design handbook 6th ed. Pasal 4.5.1}$$

$$= 22,297.54 \text{ pounds}$$

$$= 99,117.14 \text{ N}$$

Gaya geser yang terjadi:

Berat hollow core	=	336	Kg/m ²
Live load	=	400	Kg/m ²
Dead load	=	300	Kg/m ²
Panjang bentang	=	7	m
Lebar bentang	=	1.2	m

Beban ultimate (q): $1.2DD + 1.6LL = 1452.4 \text{ kg/m}^2$

$$V_u = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l = \frac{1}{2} \times 1452.4 \times 7 \times 9.8 = 49.817.32 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 99,117.14 \text{ N} > V_u = 49,817.32 \text{ N}$$

Penulangan lentur longitudinal ledge

$$A_\ell = \frac{200(b_\ell - b)d_\ell}{f_y}$$

(PCI design handbook 6th ed. Pasal 4.5.3)

Cover	= 40	mm	
b	= 400	mm	= 15.75 inch
b _ℓ	= 500	mm	= 19.68 inch
h _ℓ	= 477	mm	= 18.78 inch
f _y	= 240	MPa	= 34,808 Psi
Diameter tul.	= 13	mm	
d _ℓ	= h _ℓ – cover – 1.5diameter tul.		
	= 417.5	mm	= 16.44 inch
Maka A _ℓ	=	$\frac{200(b_\ell - b)d_\ell}{f_y}$	=

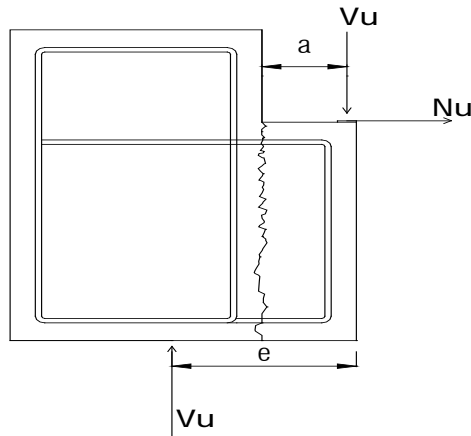
$$\frac{200 \times (19.68 - 15.75) \times 16.44}{34,808} = 0.372 \text{ inch}^2 = 239.88 \text{ mm}^2$$

Kebutuhan tulangan lentur longitudinal ledge:

$$\frac{239.8 \text{ mm}^2}{\pi \cdot \frac{1}{4} \cdot 13 \cdot 13} = 2 \text{ buah, dipasang diatas dan bawah ledge}$$

Penulangan lentur transversal ledge

Adapun notasi dan gambar untuk membantu perencanaan tulangan dapat dilihat pada gambar 7.1 dan tulangan lentur transversal dinotasikan sebagai A_s .



Gambar 7.1. Gambar untuk membantu perencanaan tulangan transversal ledge

$$A_s = \frac{1}{\phi \cdot f_y} \left[V_u \left(\frac{a}{d} \right) + N_u \left(\frac{h_f}{d} \right) \right]$$

→ PCI design handbook 6th ed. Pasal

4.5.2

V_u	= 49,817.32	N
N_u	= 26,748.72	N
a	= 50	N
d	= 430.5	mm
h_f	= 477	mm
ϕ	= 0.75	
\emptyset	= 13	mm
f_y	= 240	MPa

$$A_s = \frac{1}{\phi \cdot f_y} \left[V_u \left(\frac{a}{d} \right) + N_u \left(\frac{h_f}{d} \right) \right]$$

$$A_s = 196.8 \text{ mm}^2$$

Kebutuhan tulangan lentur transversal ledge:

$$\frac{196.8 \text{ mm}^2}{\pi \cdot \frac{1}{4} \cdot 13.13} = 2 \text{ buah}$$

Syarat jarak penulangan:

1. Jumlah kebutuhan terbagi rata pada 6.h_f :

$$\frac{6 \times 477}{2 \text{ buah}} = 1,431 \text{ mm}$$

2. ≤ tinggi ledge = 477 mm

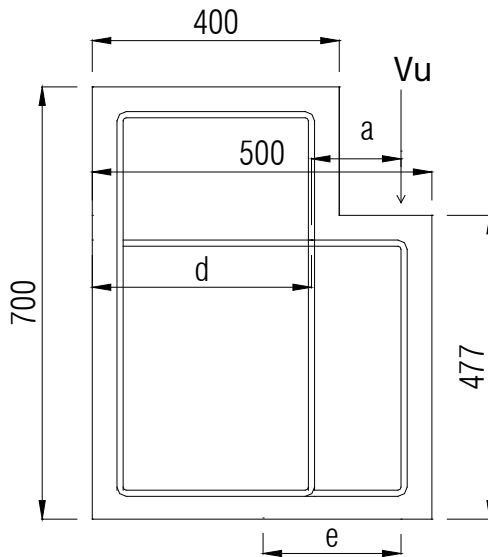
3. ≤ 457.2 mm (18 in)

Maka direncanakan jarak tulangan = 400 mm

Lekatan ledge ke badan balok

Yang dimaksud adalah jarak tulangan sengkang yang dibutuhkan untuk mengetahui apakah jarak tulangan sengkang dan luasannya cukup ledge menempel pada balok. Dan perhatikan gambar 7.2 untuk mempermudah memahami notasi yang digunakan.

$$A_{sh} = \frac{V_u}{\phi f_y} m$$



Gambar 7.2. Gambar untuk membantu perencanaan tulangan lekatan ledge

$$\phi = 0.75$$

$$\emptyset = 13 \text{ mm}$$

$$f_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$V_u = 49,817.32 \text{ N}$$

$$m = 0.72$$

$$A_{sh} = \frac{V_u}{\phi f_y} m$$

$$A_{sh} = 199.27 \text{ mm}^2$$

Maka kebutuhan tulangan lentur transversal ledge:

$$\frac{199.27 \text{ mm}^2}{\pi \cdot \frac{1}{4} \cdot 13 \cdot 13} = 2 \text{ buah}$$

Syarat jarak penulangan:

1. Jumlah kebutuhan terbagi rata pada $6.h$:

$$\frac{6 \times 477}{2 \text{ buah}} = 1,431 \text{ mm}$$

2. \leq tinggi ledge = 477 mm

3. $\leq 457.2 \text{ mm}$ (18 in)

Maka direncanakan jarak tulangan = 400 mm

Penulangan lentur luar bidang dekat ujung balok

Untuk menahan momen lentur diluar bidang, yakni di dekat ujung balok yang dinotasikan dengan A_{wv} dan A_{wl} , adapun gambar 7.3. disajikan untuk mempermudah memahami notasi yang dimaksudkan dalam rumus.

Jarak bearing pad ke ujung ledge = 50 mm

$$A_{wv} = A_{wl} = \frac{V_u \cdot e}{2 \cdot \phi \cdot f_y \cdot d_w}$$

$$V_u = 36,769.6 \text{ N}$$

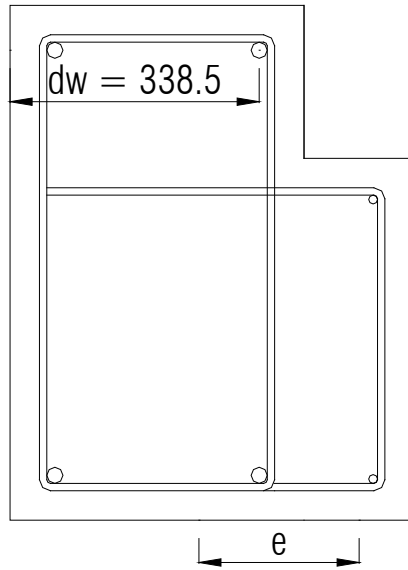
$$e = \frac{400 \times 700 \times 200 + 492 \times 150 \times 475}{400 \times 700 + 492 \times 150} - 50 = 213.61 \text{ mm}$$

$$\phi = 0.75$$

$$\emptyset = 13 \text{ mm}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$d_w = 400 - 40 - 12 - 0.5 \times 16 = 338.5 \text{ mm}$$



Gambar 7.3. Penjelasan d_w dan e

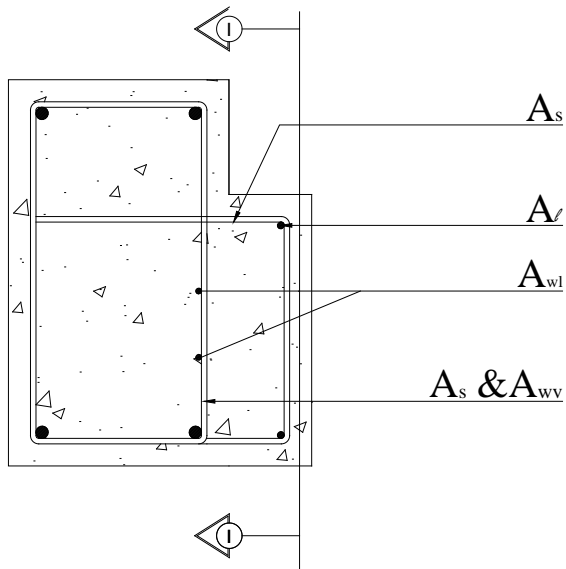
$$A_{wv} = A_{wl} = \frac{V_u \cdot e}{2 \cdot \phi \cdot f_y \cdot d_w}$$

$$A_{wv} = A_{wl} = 87.33 \text{ mm}^2$$

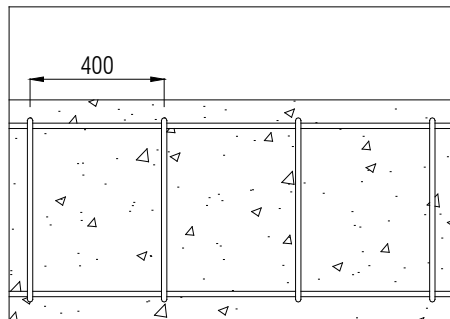
Maka kebutuhan tulangan lentur:

$$\frac{87.33 \text{ mm}^2}{\pi \cdot \frac{1}{4} \cdot 13 \cdot 13} = 1 \text{ buah}$$

Dari hasil perhitungan diatas maka penulangan balok L bias diperhatikan di gambar 7.4.sebagai berikut:



Gambar 7.4. Gambar hasil perhitungan balok L B-1



Gambar 7.5. Gambar potongan I-I

Hasil perhitungan di rekapitulasi pada tabel 7.1. berikut:

Tabel 7.1. Perhitungan Penulangan Ledge balok

Nama balok	ϕ (koefisien reduksi geser)	b (mm)	h (mm)	λ	Tipe Balok	
B1	0.75	400	700	1	Inverted-T	
B2	0.75	400	700	1	Inverted-T	
B3	0.75	400	700	1	Rectangular	
B4	0.75	400	700	1	L-beam	
B5	0.75	400	700	1	L-beam	
B6	0.75	300	500	1	Rectangular	
B7	0.75	400	700	1	L-beam	
B8	0.75	400	700	1	Inverted-T	
B9	0.75	300	500	1	L-beam	
B10	0.75	400	700	1	Rectangular	
B11	0.75	400	700	1	Rectangular	
B12	0.75	400	700	1	L-beam	

Nama balok	h _{ef} (mm)	f _c (MPa)	Berat pelat (kg/m ²)	DL (kg/m ²)	LL (kg/m ²)	h _n (m)
B1	477	30	377	300	400	7.0
B2	477	30	377	300	250	7.0
B3	477	30	377	300	250	0.0
B4	477	30	377	300	250	3.5
B5	477	30	377	300	250	3.5
B6	277	30	377	300	250	2.5
B7	477	30	377	300	250	7.0
B8	477	30	377	300	250	7.0
B9	277	30	377	300	250	3.5
B10	477	30	377	300	250	0.0
B11	477	30	377	300	250	0.0
B12	477	30	377	300	250	4.0

Nama balok	Vu (pada ledge) (N)	Nu (pada ledge) (N)	ϕV_n (N)	Cek geser
B1	49,817.32	26,748.72	99,117.14	OK
B2	41,585.32	64.10	99,117.14	OK
B3	-	50,916.61	-	OK
B4	20,792.66	218.58	99,117.14	OK
B5	20,792.66	23,295.89	99,117.14	OK
B6	-	29,323.21	-	OK
B7	41,585.32	33,544.54	99,117.14	OK
B8	41,585.32	82.07	99,117.14	OK
B9	20,792.66	28.87	57,558.59	OK
B10	-	145.94	-	OK
B11	-	112.45	-	OK
B12	23,763.04	109.91	99,117.14	OK

Nama balok	Lebar ledge (mm)	b _f (mm)	f _y (MPa)	Cover (mm)	Ø tulangan (mm)
B1	100	500	240	40	13
B2	100	500	240	40	13
B3	0	400	240	40	13
B4	100	500	240	40	13
B5	100	500	240	40	13
B6	0	300	240	40	13
B7	100	500	240	40	13
B8	100	500	240	40	13
B9	100	400	240	40	13
B10	0	400	240	40	13
B11	0	400	240	40	13
B12	100	500	240	40	13

Nama balok	dℓ (mm)	Aℓ (mm ²)	Jumlah tulangan lentur	d (mm)	a (mm)	A _s (mm ²)
B1	417.5	239.88	2	430.5	50	196.80
B2	417.5	239.88	2	430.5	50	27.23
B3	0	0	0	0	0	-
B4	417.5	239.88	2	430.5	50	14.76
B5	417.5	239.88	2	430.5	50	156.82
B6	0	0.00	0	0	0	-
B7	417.5	239.88	2	430.5	50	233.32
B8	417.5	239.88	2	430.5	50	27.34
B9	217.5	124.97	1	230.5	50	25.25
B10	0	0.00	0	0	0	-
B11	0	0.00	0	0	0	-
B12	417.5	239.88	2	430.5	50	16.01

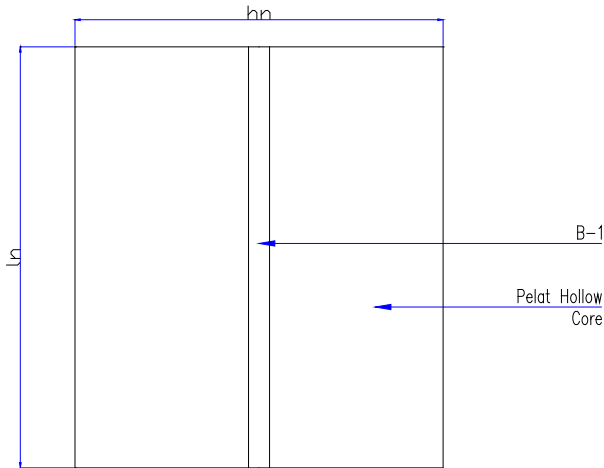
Nama balok	Jumlah tulangan	s (mm)	bl/b	hl/h	b (inch)	m	A _{sh} (mm ²)	Jumlah tulangan pengganti
B1	2	400	1.25	0.68	15.748	0.72	199.27	2
B2	1	400	1.25	0.68	15.748	0.72	166.34	2
B3	0	0	0	0.00	15.748	0.72	0	0
B4	1	400	1.25	0.68	15.748	0.72	83.17	1
B5	2	400	1.25	0.68	15.748	0.72	83.17	1
B6	0	0	0	0.00	11.811	0.72	0	0
B7	2	400	1.25	0.68	15.748	0.72	166.34	2
B8	1	400	1.25	0.68	15.748	0.72	166.34	2
B9	1	200	1.33	0.55	11.811	0.88	101.65	1
B10	0	0	0	0.00	15.748	0.72	0	0
B11	0	0	0	0.00	15.748	0.72	0	0
B12	1	400	1.25	0.68	15.748	0.72	95.05	1

Nama balok	d_w (mm)	e (mm)	A_{wv} & A_{wl} (mm ²)	Jumlah tulangan
B1	338.5	213.61	87.33	1
B2	338.5	213.61	72.90	1
B3	338.5	0	-	0
B4	338.5	213.61	36.45	1
B5	338.5	213.61	36.45	1
B6	238.5	0	-	0
B7	338.5	213.61	72.90	1
B8	338.5	213.61	72.90	1
B9	238.5	168.8239	40.88	1
B10	338.5	0	-	0
B11	338.5	0	-	0
B12	338.5	213.61	41.65	1

7.1.1.2 Penulangan Lentur Saat *Setting*

Kebutuhan tulangan bawah saat setting

Pada kondisi sebelum komposit, balok pracetak dimodelkan sebagai balok sederhana pada tumpuan dua sendi. Hal ini membuat beban-beban yang digunakan untuk menghitung tulangan pada kondisi sebelum komposit adalah beban yang berasal dari pelat, overtopping dan berat balok itu sendiri. Sedangkan untuk perhitungannya, beban-beban merata yang diterima oleh balok induk akan dihitung sebagai beban dengan konsep trybutary area, perhatikan gambar 7.5.



Tampak
Atas

Gambar 7.6. Pembebanan balok dari pelat saat belum komposit

Perhitungan balok B1 sebelum komposit

Beban-beban sebelum komposit:

Dimensi balok sebelum komposit 40/50

- Beban sendiri balok ($1.5 \times 0.4 \times 0.6 \times 2400 \text{ kg/m}^2$)
 $= 864 \text{ kg/m}$
- Beban pelat:
 - $h_n = 7 \text{ m}$
 - $l_n = 8 \text{ m}$
 - Berat sendiri pelat $= 336 \text{ kg/m}^2$
 - Maka beban pelat ke balok: $7 \times 336 \text{ kg/m}^2$
 $= 2352 \text{ kg/m}$

Maka beban balok yang perlu didesain saat kondisi sebelum komposit adalah: $1.2 \times (864 + 2352) = 3859.2 \text{ kg/m}$

Lapangan

$$Mu = \frac{3859.2 \times 8 \times 8}{8} = 30,873.6 \text{ Kgm} = 302,561,280$$

Nmm

$$dx = 600 - 40 - 12 - 0.5 \times 19 = 538.5 \text{ mm}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{\phi \cdot b \cdot d^2} = 3.26$$

$$m = \frac{fy}{0.85 \times f'c} = 15.686$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) = 0.0088$$

Karena $\rho_{\max} (0.0232) > \rho (0.0088) > \rho_{\min} (0.0034)$
maka digunakan $\rho = 0.0088$

$$As = 0.0088 \times 400 \times 538.5 = 1885.22 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan tarik:

$$\frac{1885.22}{2 \times 0.25 \times \pi \times 19^2} = 7 \text{ buah}$$

Tumpuan

$$Mu = 0.5 \text{ Mu.lapangan} = 151,280,640 \text{ Nmm}$$

$$dx = 600 - 40 - 12 - 0.5 \times 19 = 538.5 \text{ mm}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{\phi \cdot b \cdot d^2} = 1.63$$

$$m = \frac{fy}{0.85 \times f'c} = 15.686$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) = 0.0042$$

Karena $\rho_{\max} (0.0232) > \rho (0.0042) > \rho_{\min} (0.0034)$

maka digunakan $\rho = 0.0042$

$$A_s = 0.0088 \times 400 \times 538.5 = 907.92 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan tarik:

$$\frac{907.92}{2 \times 0.25 \times \pi \times 19^2} = 4 \text{ buah}$$

Tabel 7.2. Kebutuhan Tulangan Bawah Balok Saat Setting

Nama balok	Lokasi	b (mm)	h (mm)	Tipe Balok	Jumlah lentur pakai
B1	Tumpuan	400	600	Inverted-T	4
	Lapangan	400	600	Inverted-T	7
B2	Tumpuan	400	600	Inverted-T	3
	Lapangan	400	600	Inverted-T	4
B3	Tumpuan	400	600	Rectangular	3
	Lapangan	400	600	Rectangular	3
B4	Tumpuan	400	600	L-beam	3
	Lapangan	400	600	L-beam	4
B5	Tumpuan	400	600	L-beam	3
	Lapangan	400	600	L-beam	3
B6	Tumpuan	300	400	Rectangular	2
	Lapangan	300	400	Rectangular	2
B7	Tumpuan	400	600	L-beam	3
	Lapangan	400	600	L-beam	3
B8	Tumpuan	400	600	Inverted-T	3
	Lapangan	400	600	Inverted-T	3
B9	Tumpuan	300	400	L-beam	2
	Lapangan	300	400	L-beam	2
B10	Tumpuan	400	600	Rectangular	3
	Lapangan	400	600	Rectangular	3
B11	Tumpuan	400	600	Rectangular	3
	Lapangan	400	600	Rectangular	3
B12	Tumpuan	400	600	L-beam	3
	Lapangan	400	600	L-beam	3

7.1.1.3 Penulangan Lentur Saat Komposit

Desain balok induk dilakukan dengan tulangan rangkap, dimana untuk mendesain tulangan lentur diperhitungkan gaya gempa arah bolak – balik (kiri dan kanan) yang akan menghasilkan momen positif dan negatif pada tumpuan. Hasil perencanaan penulangan yang nantinya akan digunakan merupakan kombinasi dari perencanaan bertahap tersebut dengan mengambil jumlah tulangan yang terbesar.

Dari analisa software SAP2000 v14 didapat nilai-nilai gaya dalam sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= (-) 420,404,3730 && \text{N-mm} \\ &= (+) 210,202,186 && \text{N-mm} \end{aligned}$$

Pada kondisi komposit, balok menerima seluruh beban layan, yakni beban mati, hidup dan gempa.

Tabel 7.3. Momen ultimate dari output SAP2000

Nama balok	Lokasi	b (mm)	h (mm)	Mu (N-mm)	
B1	Tumpuan	400	700	(-)	(420,404,373.00)
	Lapangan	400	700	(+)	210,202,186.50
B2	Tumpuan	400	700	(-)	(242,835,825.00)
	Lapangan	400	700	(+)	98,975,406.60
B3	Tumpuan	400	700	(-)	(218,314,352.00)
	Lapangan	400	700	(+)	164,105,233.30
B4	Tumpuan	400	700	(-)	(291,816,633.00)
	Lapangan	400	700	(+)	111,846,660.60
B5	Tumpuan	400	700	(-)	(246,895,843.00)
	Lapangan	400	700	(+)	102,634,566.20
B6	Tumpuan	300	500	(-)	(79,666,192.00)
	Lapangan	300	500	(+)	54,892,713.17
B7	Tumpuan	400	700	(-)	(299,130,542.00)
	Lapangan	400	700	(+)	85,327,533.81
B8	Tumpuan	400	700	(-)	(538,471,252.00)
	Tumpuan	400	700	(+)	6,981,764.31
B9	Tumpuan	300	500	(-)	(74,536,794.00)
	Lapangan	300	500	(+)	(1,377,531.53)
B10	Tumpuan	400	700	(-)	(172,341,571.00)
	Lapangan	400	700	(+)	115,113,899.80
B11	Tumpuan	400	700	(-)	(313,219,539.00)
	Lapangan	400	700	(+)	37,778,215.77
B12	Tumpuan	400	700	(-)	(369,440,205.00)
	Tumpuan	400	700	(+)	(8,526,210.15)

Balok B-1

Dimensi balok induk	= 400x700	mm
Panjang balok induk	= 8	m
Diameter tulangan utama	= 19	mm
Diameter sengkang	= 12	mm
Tebal decking	= 40	mm
f'_c	= 30	MPa
f_y (untuk sengkang)	= 400	MPa
f_y (untuk lentur)	= 400	MPa
$\beta_1 = 0.85 - 0.008 \times (35-30)$	= 0.81	
$d' = 40+12+0.5 \times 19$	= 61.5	mm
$d = 700 - 40 - 12 - \frac{1}{2} \times 19$	= 638.5	mm

Tulangan Lentur

Dimensi balok induk 40/70

Bentang balok induk 8 m

Direncanakan menggunakan tulangan diameter 19 mm

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85\beta_1 f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$
$$= 0.031$$

$$\rho_{\text{max}} = 0.75 \times 0.031 = 0.0232$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = 0.0035$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} = 0.0034$$

$$\rho_{\text{min pakai}} = 0.0035$$

➤ Pada tumpuan:

$$M_u = (-) 420,404,3730 \quad \text{N-mm}$$

$$\begin{aligned}
 dx &= 638.5 \text{ mm} \\
 b &= 400 \text{ mm} \\
 d' &= 40 + 12 + 0.5 \times 19 = 61.5 \text{ mm} \\
 \delta &= 0.4
 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{(1 - \delta)Mn}{\phi b d^2} = 1.93 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = 15.686$$

$$\begin{aligned}
 \rho \delta &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= 0.005
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho' &= \frac{\delta Mn}{\phi f_y (d - d') b d} \\
 &= 0.00357
 \end{aligned}$$

Karena $\rho_{\max} (0.0232) > \rho (0.00503) > \rho_{\min} (0.0034)$
maka digunakan $\rho \delta = 0.00524$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{perlu}}} &= 0.00503 \times 400 \times 638.5 \\
 &= 1285.28 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Pakai tulangan tarik 5 D 19 ($A_s \text{ pakai} = 1417.64 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
 A_{s'_{\text{perlu}}} &= 0.00357 \times 400 \times 638.5 \\
 &= 823.03 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Pakai tulangan tekan 4 D 19 ($A_s \text{ pakai} = 1134.12 \text{ mm}^2$)

Berikutnya kebutuhan tulangan bawah di-*cross check* dengan kebutuhan tulangan saat setting. Saat setting didapati tulangan bawah membutuhkan 4 D 19, maka 4 D 19 memenuhi

➤ Pada Lapangan:

$$Mu = (+) 210,202,186 \quad \text{N-mm}$$

$$dx = 638.5 \text{ mm}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 12 + 0.5 \times 19 = 61.5 \text{ mm}$$

$$\delta = 0.4$$

$$Rn = \frac{(1 - \delta)Mn}{\phi b d^2} = 0.97$$

$$m = \frac{fy}{0.85 \times f'c} = 15.686$$

$$\rho\delta = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right)$$

$$= 0.0025$$

$$\text{Karena } \rho_{\max} (0.0232) > \rho (0.0025) < \rho_{\min} (0.0034)$$

$$\text{Maka } \rho\delta \text{ pakai} = 0.0034$$

$$\rho' = \frac{\delta Mn}{\phi fy (d - d') b d}$$

$$= 0.00182$$

$$\text{Karena } \rho_{\max} (0.0232) > \rho (0.00178) < \rho_{\min} (0.0034)$$

$$\text{Maka } \rho' \text{ pakai} = 0.0034$$

$$As_{\text{perlu}} = 0.0034 \times 400 \times 638.5$$

$$= 874.302 \text{ mm}^2$$

$$\text{Pakai tulangan tarik 4 D 19 (As pakai} = 1134.12 \text{ mm}^2)$$

Berikutnya kebutuhan tulangan bawah di-cross check dengan kebutuhan tulangan saat setting. Saat setting didapati tulangan bawah membutuhkan 7 D 19, maka dipakai 7 D 19 karena lebih kritis (As = 1983.70 mm²)

$$\begin{aligned} A_s'_{\text{perlu}} &= 0,0034 \times 400 \times (638,5 - 61,5) \\ &= 790,09 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Pakai tulangan tekan 3 D 19 (As pakai = 850.59 mm²)

Kontrol kompatibilitas regangan daerah tumpuan

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f'_c \times \beta \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0,0011 \leq 0,003$$

Maka tulangan tekan tidak leleh.

Mencari nilai c dengan persamaan:

$$\begin{aligned} T &= C \\ A_s f_y &= A'_s E_s \left(1 - \frac{d'}{c} \right) \varepsilon_{cu} + 0,85 f_c b \beta_1 c \\ \Rightarrow 0,85 f_c b \beta_1 c^2 + (A'_s E_s \varepsilon_{cu} - A_s f_y) c - A'_s E_s \varepsilon_{cu} d' &= 0 \end{aligned}$$

$$8262 c^2 + 113,411c - 41,848,841.58 = 0$$

$$\begin{aligned} C_{1,2} &= \frac{b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{113,411 \pm \sqrt{113,411^2 - 4 \times 8262 \times 41,848,841.58}}{2 \times 8262} \end{aligned}$$

$$C_{1,2} = \frac{113,411 \pm 1,181,474.79}{16,524}$$

$$C_1 = -78.36 \text{ mm}$$

$$C_2 = 64.64 \text{ mm}$$

Maka diambil $c = 64.64$

Berikutnya dicari $f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s$

$$= \left(1 - \frac{d'}{c}\right) \times \epsilon_{cu} \times E_s$$

$$= \left(1 - \frac{61.5}{64.64}\right) \times 200,000 \times 0.003 = 29.12 \text{ MPa}$$

Berikutnya di-cek apakah tulangan tarik telah leleh:

$$\epsilon_s = \left(\frac{d - c}{c}\right) \epsilon_{cu} \geq \epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

Bila pernyataan di atas benar, maka tulangan tarik telah leleh.

$$\epsilon_s = \left(\frac{638.5 - 64.64}{64.64}\right) \times 0.003 \geq \frac{400}{200,000}$$

$\epsilon_s = 0.0214 \geq 0.002$, maka tulangan tarik leleh.

$$c = \frac{A_s \times f_y - A_s' \times f_s'}{0.85 \times f_c \times \beta_1 \times b} = 64.64 = 64.64$$

Maka nilai c benar.

$$M_n = (A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s') \left(\frac{2d - a}{2}\right) + A_s' \cdot f_s' \cdot (d - d')$$

$$M_n = 346,055,216.63 \text{ Nmm}$$

Dikarenakan nilai momen nominal beton terpaut jauh dengan momen ultimate, maka dipilih opsi penambahan tulangan

Dipakai:

Pakai tulangan tekan 6 D 19

$$A_s' = 0.0067 \times 400 \times (638.5 - 61.5)$$

$$= 1701.17 \text{ mm}^2$$

Pakai tulangan tarik 8 D 19

$$\begin{aligned} A_s &= 0,0089 \times 400 \times 638,5 \\ &= 2049,76 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f'_c \times \beta \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0,0022 \leq 0,003$$

Maka tulangan tekan tidak leleh.

Mencari nilai c dengan persamaan:

$$\begin{aligned} T &= C \\ A_s f_y &= A'_s E_s \left(1 - \frac{d'}{c}\right) \varepsilon_{cu} + 0,85 f_c b \beta_1 c \\ \Rightarrow 0,85 f_c b \beta_1 c^2 + (A'_s E_s \varepsilon_{cu} - A_s f_y) c - A'_s E_s \varepsilon_{cu} d' &= 0 \end{aligned}$$

$$8262 c^2 + 56,706 c - 52,311,052 = 0$$

$$C_{1,2} = \frac{b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2a}$$

$$C_1 = 94,3 \text{ mm}$$

$$C_2 = 80,57 \text{ mm}$$

Maka diambil $c = 80,57$

Berikutnya dicari $f_s' = \varepsilon_s' \cdot E_s$

$$\begin{aligned} &= \left(1 - \frac{d'}{c}\right) \times \varepsilon_{cu} \times E_s \\ &= \left(1 - \frac{61,5}{80,57}\right) \times 200,000 \times 0,003 \\ &= 142,02 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berikutnya di-cek apakah tulangan tarik telah leleh:

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d-c}{c} \right) \varepsilon_{cu} \geq \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

Bila pernyataan di atas benar, maka tulangan tarik telah leleh.

$$\varepsilon_s = \left(\frac{638.5-76.21}{76.21} \right) \times 0.003 \geq \frac{400}{200,000}$$

$\varepsilon_s = 0.0767 \geq 0.002$, maka tulangan tarik leleh.

$$c = \frac{A_s \times f_y - A'_s \times f'_s}{0.85 \times f_c \times \beta_1 \times b} = 76.21 = 76.21$$

Maka nilai c sudah benar

Dengannya dicari Momen nominal balok yakni berdasarkan rumus:

$$M_n = (A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f'_s) \left(\frac{2d-a}{2} \right) + A'_s \cdot f'_s \cdot (d - d')$$

$$M_n = 556,824,158.45 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0.85 \times M_n = 473,300,534.68 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 473,300,534.68 \text{ Nmm} > M_u = 436,955,140 \text{ Nmm}$$

Adapun untuk perhitungan balok lainnya ditabelkan pada tabel 7.2. Untuk balok B8, B9, B11, B12 dan B13 pada bagian lapangan tidak diperhatikan karena ia adalah balok kantilever:

Tabel 7.4. Perhitungan tulangan rangkap balok

Nama balok	Lokasi	Kebutuhan tulangan bawah	Kebutuhan tulangan atas	Mn (Nmm)	Cek Momen	Cek ρ
B1	Tumpuan	6	8	473,300,534.68	OK	OK
	Lapangan	7	7	415,182,557.80	OK	OK
B2	Tumpuan	4	5	295,802,577.03	OK	OK
	Lapangan	5	4	295,802,577.03	OK	OK
B3	Tumpuan	3	5	295,617,407.36	OK	OK
	Lapangan	5	4	295,802,577.03	OK	OK
B4	Tumpuan	3	5	295,617,407.36	OK	OK
	Lapangan	5	5	295,941,129.22	OK	OK
B5	Tumpuan	3	5	295,617,407.36	OK	OK
	Lapangan	5	4	295,802,577.03	OK	OK
B6	Tumpuan	4	5	199,425,595.70	OK	OK
	Lapangan	5	4	199,425,595.70	OK	OK
B7	Tumpuan	4	6	354,682,865.35	OK	OK
	Lapangan	6	5	355,157,256.92	OK	OK
B8	Tumpuan	8	10	592,370,364.35	OK	OK
	Tumpuan	8	8	474,908,492.80	OK	OK
B9	Tumpuan	4	5	199,425,595.70	OK	OK
	Lapangan	5	4	199,425,595.70	OK	OK
B10	Tumpuan	3	5	295,617,407.36	OK	OK
	Lapangan	5	3	295,617,407.36	OK	OK
B11	Tumpuan	4	6	354,682,865.35	OK	OK
	Lapangan	5	5	295,941,129.22	OK	OK
B12	Tumpuan	5	7	413,923,482.89	OK	OK
	Tumpuan	6	6	355,523,511.85	OK	OK

a. Penulangan Geser dan Torsi

Perencanaan geser dan torsi pada SNI 03-2847-2002 bab 13 tentang geser dan puntir, garis besarnya sebagai berikut :

- Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh geser harus didasarkan pada perumusan :

$V_u \pm \Phi V_n$ SNI 03-2847-2002 pasal 13.1
(1)

Dengan V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n adalah kuat geser nominal yang ditinjau dari :

$$V_n = V_c + V_s$$

Dimana :

V_u = geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

Φ = faktor reduksi geser (0,75)

V_n = kuat geser nominal

V_c = kuat geser beton

V_s = kuat geser nominal tulangan geser

Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh torsi harus didasarkan pada perumusan sebagai berikut :

$T_u \pm \Phi T_n$ SNI 03-2847-2002 pasal 13.6 (5)

Tulangan sengkang untuk puntir harus direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yv}}{s} \cdot \cot \theta$$

Dimana :

Φ = faktor reduksi geser dan torsi (0,75)

T_n = kuat momen torsi ($T_c + T_s > T_{u_{min}}$)

T_s = kuat momen torsi nominal tulangan geser

T_c = kuat torsi nominal yang disumbang oleh beton

A_o = luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser, mm^2

A_t = luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir dalam daerah sejarak s , mm^2

f_{yv} = kuat lelah tulangan sengkang torsi, Mpa

s = spasi tulangan geser atau puntir dalam arah
paralel dengan tulangan longitudinal, mm

$$Tu_{\min} = \frac{\phi \sqrt{f_c'}}{3} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \text{ SNI 03-2847-2002 pasal 13.6(2.2.a)}$$

Dimana :

ϕ = faktor reduksi kekuatan

f_c' = kuat tekan beton, Mpa

A_{cp} = luas yang dibatasi oleh keliling luar
penampang beton, mm²

P_{cp} = keliling luar penampang beton, mm

Perhitungan penulangan geser

Balok B-1

Dimensi balok induk	= 400x700	mm
Panjang balok induk	= 8	m
Diameter tulangan utama	= 19	mm
Diameter sengkang	= 12	mm
Tebal decking	= 40	mm
f_c'	= 30	MPa
f_y (untuk sengkang)	= 400	MPa
f_y (untuk lentur)	= 400	MPa
$d' = 40 + 12 + 0.5 \times 19$	= 61.5	mm
$d = 700 - 40 - 12 - \frac{1}{2} \times 19$	= 638.5	mm

Tabel 7.5. Besar gaya geser desain balok

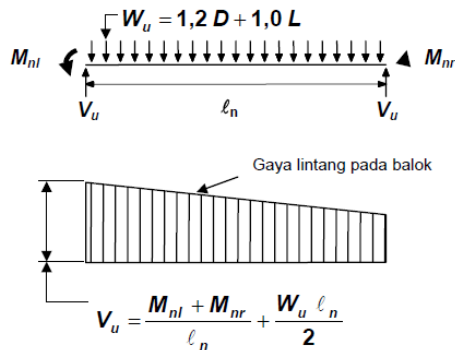
Nama balok	Lokasi	b (mm)	h (mm)	Vu desain (N)
B1	Tumpuan	400	700	495,481.98
	Lapangan	400	700	330,321.32
B2	Tumpuan	400	700	343,109.55
	Lapangan	400	700	228,739.70
B3	Tumpuan	400	700	149,878.01
	Lapangan	400	700	99,918.67
B4	Tumpuan	400	700	271,283.20
	Lapangan	400	700	180,855.47
B5	Tumpuan	400	700	313,302.06
	Lapangan	400	700	208,868.04
B6	Tumpuan	300	500	122,253.84
	Lapangan	300	500	81,502.56
B7	Tumpuan	400	700	368,378.20
	Lapangan	400	700	245,585.46
B8	Tumpuan	400	700	536,095.40
	Lapangan	400	700	357,396.94
B9	Tumpuan	300	500	229,616.96
	Lapangan	300	500	153,077.97
B10	Tumpuan	400	700	222,165.96
	Lapangan	400	700	148,110.64
B11	Tumpuan	400	700	261,873.83
	Lapangan	400	700	174,582.55
B12	Tumpuan	400	700	367,088.97
	Lapangan	400	700	244,725.98

Daerah Tumpuan

$$V_{u1 \text{ tumpuan}} = 315,303.35 \text{ N}$$

Maka menurut SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.3, maka nilai geser tersebut harus dibandingkan dengan:

1. Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan gaya lintang akibat beban gravitasi



2. Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh beban gempa, E, dimana nilai E diambil sebesar dua kali nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahap gempa. Terfaktor gaya lintang akibat termobilisasinya kuat struktur nominal

Perhitungan:

$$L1 = 400 \text{ kg/m}^2$$

$$D1 = 300 \text{ kg/m}^2$$

$$h_n = 7 \text{ m}$$

$$l_n = 8 \text{ m}$$

$$\text{Berat sendiri pelat} = 336 \text{ kg/m}^2$$

Maka

$$W_u = 1.2 \times (336 \times 7 + 300 \times 7 + 0.4 \times 0.7 \times 2400 + 108 \times 4.32) + 1 \times 400 \times 7 = 9088.67 \text{ kg/m}$$

$$M_{nl} = M_{nr} = 436,955,140 \text{ Nmm}$$

$$V_{u2} = \frac{555,534,253.53 + 555,534,253.53}{8} + \frac{9088.67 \times 8}{2}$$

$$= 495,481.98 \text{ N}$$

Dari SAP2000 didapatkan kondisi gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh beban gempa, E, dimana nilai E diambil sebesar dua kali nilai:

$$V_{u3} = 279,372.88 \text{ N}$$

Diambil yg menentukan yakni V_{u2} , maka

$$V_u = 495,481.98 \text{ N} / 0.75 = 660,642.64 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 255,605.86 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 191,702.9 \text{ N}$$

Cek Kondisi-1, $0.5 \phi V_c > V_u$ butuh tulangan geser

$$0.5 \times \phi V_c = 95,851.45 \text{ N} < V_u = 495,481.98 \text{ N} \dots \text{Not Ok}$$

Cek kondisi-2 $\phi V_c > V_u$: Butuh tul.geser minimum

$$\phi V_c = 191,702.9 \text{ N} < V_u 495,481.98 \text{ N} \dots \text{Not Ok}$$

Cek kondisi-3 $(V_u - \phi V_c) < 0.67 \times b \times d \times \sqrt{f'c}$: Butuh tul.geser

$303,779.09 \text{ N} < 937,251.89 \text{ N} \dots \text{OK}$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ perlu}} &= V_u - \phi V_c \\ &= 303,779.09 \text{ N} \end{aligned}$$

$$A_v = 4 \text{ } \emptyset 12 = 4 \times \pi \times 0,25 \times 12^2 = 452.39 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \\ &= 228.21 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menurut *SNI 03-2847-2002 pasal 23.10*, Jarak maksimum antar sengkang tertutup SRPMM pada jarak sejauh $2 \times$ tinggi struktur tidak boleh melebihi:

$$S \leq d/4 = 638.5 / 4 = 159,375 \text{ mm}$$

$$S \leq 8 D = 8 \times 19 = 152 \text{ mm}$$

$$S \leq 24 \text{ } \emptyset = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$$

$$S \leq 300 \text{ mm}$$

Sehingga dipasang tulangan geser $4 \text{ } \emptyset 12 - 100$

Perhitungan lengkap balok lain ditabelkan pada tabel 7.5.

Tabel 7.6. Kebutuhan sengkang tanpa pengaruh torsi

Nama balok	Lokasi	Ø geser (mm)	Jml. Sengkang	Spakai (mm)	Cek nilai S
B1	Tumpuan	12	3	150	TRUE
	Lapangan	12	2	300	TRUE
B2	Tumpuan	12	2	100	TRUE
	Lapangan	12	2	300	TRUE
B3	Tumpuan	12	3	100	TRUE
	Lapangan	12	3	300	TRUE
B4	Tumpuan	12	3	100	TRUE
	Lapangan	12	3	300	TRUE
B5	Tumpuan	12	2	100	TRUE
	Lapangan	12	2	300	TRUE
B6	Tumpuan	12	2	100	TRUE
	Lapangan	12	2	200	TRUE
B7	Tumpuan	12	3	100	TRUE
	Lapangan	12	2	300	TRUE
B8	Tumpuan	12	3	100	TRUE
	Lapangan	12	3	300	TRUE
B9	Tumpuan	12	3	100	TRUE
	Lapangan	12	2	200	TRUE
B10	Tumpuan	12	2	100	TRUE
	Lapangan	12	2	300	TRUE
B11	Tumpuan	12	2	100	TRUE
	Lapangan	12	2	300	TRUE
B12	Tumpuan	12	3	100	TRUE
	Lapangan	12	2	300	TRUE

Perhitungan penulangan torsi

Balok B-1, sengkang torsi

Dimensi balok induk	= 400x700	mm
Panjang balok induk	= 8	m
Diameter tulangan utama	= 19	mm
Diameter sengkang	= 12	mm
Tebal decking	= 40	mm
f'_c	= 30	MPa
f_{yv} (untuk sengkang)	= 400	MPa
f_{yl} (untuk lentur)	= 400	MPa
$d' = 40+12+0.5 \times 19$	= 61.5	mm
$d = 700 - 40 - 12 - \frac{1}{2} \times 19$	= 638.5	mm
T_u	= 54,036,152	Nmm

Tabel 7.7. Gaya torsi dan hasil cek terhadap torsi

Nama balok	Lokasi	Tu (N-mm)	Cek torsi
B1	Tumpuan	54,036,152.00	Torsi dihitung
	Lapangan	54,036,152.00	Torsi dihitung
B2	Tumpuan	3,723,395.23	Torsi diabaikan
	Lapangan	3,723,395.23	Torsi diabaikan
B3	Tumpuan	75,186,182.55	Torsi dihitung
	Lapangan	75,186,182.55	Torsi dihitung
B4	Tumpuan	56,282,556.36	Torsi dihitung
	Lapangan	56,282,556.36	Torsi dihitung
B5	Tumpuan	18,806,296.89	Torsi dihitung
	Lapangan	18,806,296.89	Torsi dihitung
B6	Tumpuan	21,733,807.08	Torsi dihitung
	Lapangan	21,733,807.08	Torsi dihitung
B7	Tumpuan	21,713,955.92	Torsi dihitung
	Lapangan	21,713,955.92	Torsi dihitung
B8	Tumpuan	39,170,476.07	Torsi dihitung
	Lapangan	39,170,476.07	Torsi dihitung
B9	Tumpuan	17,972,696.75	Torsi dihitung
	Lapangan	17,972,696.75	Torsi dihitung
B10	Tumpuan	4,026,683.95	Torsi diabaikan
	Lapangan	4,026,683.95	Torsi diabaikan
B11	Tumpuan	56,407,555.00	Torsi dihitung
	Lapangan	56,407,555.00	Torsi dihitung
B12	Tumpuan	45,999,444.00	Torsi dihitung
	Lapangan	45,999,444.00	Torsi dihitung

Menurut **SNI 03-2847-2002 Pasal 13.6.(2(a))** torsi boleh diabaikan bila memenuhi syarat berikut:

$$T_u < \phi \frac{\sqrt{f'_c}}{12} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \text{ SNI 03-2847-2002 pasal 13.6}$$

$$A_{cp} = 400 \times 700 = 280,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{cp} = 2 \cdot (400 + 700) = 2,200 \text{ mm}$$

$$T_u = 54,036,152 > \phi \frac{\sqrt{f'_c}}{12} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) = 12,199,275.14 \text{ Nmm}$$

Jadi Torsi tidak dapat diabaikan dan perlu dilakukan kombinasi geser dan torsi. Berikutnya perlu di-lakukan control penampang sebagaimana termuat dalam **SNI 03-2847-2002 Pasal 13.6.3.1**

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + \frac{2 \sqrt{f'_c}}{3} \right)$$

$$X1 = 400 - 2 \cdot 40 - 12 = 308 \text{ mm}$$

$$Y1 = 700 - 2 \cdot 40 - 12 = 608 \text{ mm}$$

$$b_w = 400 \text{ mm}$$

$$d = 638.5 \text{ mm}$$

$$p_h = 2 \cdot (X1 + Y1) = 1832 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = X1 \cdot Y1 = 187,264.00 \text{ mm}^2$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \cdot b_w \cdot d = 255,603.86 \text{ N}$$

$$T_u = 53,762,998.28 \text{ N-mm}$$

$$V_u = 322,089.46 \text{ N}$$

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + \frac{2 \sqrt{f'_c}}{3} \right)$$

$$2.069 \leq 3.489 \dots \text{OK}$$

Maka momen torsi yang terjadi tidak membuat perlunya perubahan dimensi balok.

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yv}}{S} \cdot \cot \theta$$

Disebutkan dalam **SNI 03-2847-2002 Pasal 13.6.3.6**

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{54,036,152}{0.75} = 72,048,202.67 \text{ N}$$

$$A_o = 0.85 \cdot A_{oh} = 159,174.4 \text{ mm}^2$$

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yv}}{S} \rightarrow \frac{A_t}{S} = \frac{T_n}{A_o \cdot f_{yv} \cdot 2}$$

$$\frac{A_t}{S} = 0.57 \text{ mm}^2/\text{mm}/1 \text{ kaki}$$

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d \cdot \text{jumlah sengkang geser}}{V_s} \rightarrow$$

$$\frac{A_v}{S} = 0.44 \text{ mm}^2/\text{mm}/1 \text{ kaki}$$

Maka kebutuhan tulangan geser yang diakibatkan geser dan torsi adalah:

$$\text{Luas total tulangan geser } A_{vt} = \pi \cdot 12^2 / 4 = 113.097 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_v}{S} + \frac{A_t}{S} = \frac{A_{vt}}{S}$$

$$0.57 + 0.55 = \frac{113.097}{S}$$

$$\rightarrow S = \frac{113.097}{1.6} = 117.53 \text{ mm}$$

Setelah didapatkan jarak sengkang, dilakukan pengecekan sengkang geser torsi, sebagaimana disyaratkan pada **SNI 03-2847-2002 Pasal 13.6.3.5** :

Syarat-1

$$A_v + 2A_t = \frac{75\sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot s}{1200 \cdot f_{yv}}$$

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{75 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w}{1200 \cdot f_{yv}} \rightarrow \text{karena } A_{vt} \text{ adalah dua kaki}$$

$$\frac{A_{vt}}{s} = 1.14 \rightarrow \frac{A_{vt}}{s} = 0.57; A_{vt} = 2 \cdot \pi \cdot 12^2 / 4 = 226.195 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{226.195}{0.57} = 396.45 \text{ mm}$$

Syarat-2 $\frac{1 \cdot b_w \cdot s}{3 \cdot f_{yv}}$

$$\frac{s \cdot b_w}{3 \cdot f_{yv}} = A_{vt} \rightarrow \frac{s}{s} = \frac{b_w}{3 \cdot f_{yv}} = \frac{400}{3 \cdot 400} = 0.556$$

$$A_{vt} = 2 \cdot \pi \cdot 12^2 / 4 = 226.195 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{226.195}{0.556} = 407.15 \text{ mm}$$

Menurut *SNI 03-2847-2002 pasal 23.10*, Jarak maksimum antar sengkang tertutup SRPMM pada daerah 2xtinggi bersih tidak boleh melebihi:

$$S \leq d/4 = 638.5 / 4 = 159,375 \text{ mm}$$

$$S \leq 8 D = 8 \times 19 = 152 \text{ mm}$$

$$S \leq 24 \varnothing = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$$

$$S \leq 300 \text{ mm}$$

Sehingga dipasang tulangan geser 3 Ø12 – 100

Tabel 7.8. Penulangan sengkang akibat geser dan torsi

Nama balok	Lokasi	b (mm)	h (mm)	S pakai (mm)	Kesimpulan
B1	Tumpuan	400	700	100	OK
	Lapangan	400	700	100	OK
B2	Tumpuan	400	700	150	OK
	Lapangan	400	700	150	OK
B3	Tumpuan	400	700	100	OK
	Lapangan	400	700	100	OK
B4	Tumpuan	400	700	150	OK
	Lapangan	400	700	150	OK
B5	Tumpuan	400	700	150	OK
	Lapangan	400	700	150	OK
B6	Tumpuan	300	500	100	OK
	Lapangan	300	500	100	OK
B7	Tumpuan	400	700	150	OK
	Lapangan	400	700	150	OK
B8	Tumpuan	400	700	100	OK
	Lapangan	400	700	150	OK
B9	Tumpuan	300	500	100	OK
	Lapangan	300	500	100	OK
B10	Tumpuan	400	700	150	OK
	Lapangan	400	700	150	OK
B11	Tumpuan	400	700	150	OK
	Lapangan	400	700	150	OK
B12	Tumpuan	400	700	150	OK
	Lapangan	400	700	150	OK

Balok B-1, tulangan longitudinal torsi

$$A_{\ell} = \frac{A_t}{s} p_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right) \cot^2 \theta$$

f_{yv} (tul. geser) = 400 MPa

f_{yv} (tul. badan) = 400 MPa

A_{ℓ} = 1,036.54 mm²

Dan didapati dari pasal 13.6.5.3 A_{ℓ} tidak boleh lebih kecil dari:

$$A_{l,min} = \frac{5\sqrt{f'_c} A_{cp}}{12f_{yt}} - \left(\frac{A_t}{s} \right) p_h \frac{f_{yv}}{f_{yt}}$$

Dan $a_t/s \geq b_w/6f_{yv} = 0.28$

Maka $A_{\ell,min} = 1,292.19$ mm²

Maka dipakai tulangan longitudinal torsi 5 D 19 ($A_s = 1701.17$ mm²)

Tabel 7.9. Kebutuhan tulangan badan

Nama balok	Lokasi	b (mm)	h (mm)	o longt. torsi (mm)	Jml longit. Torsi
B1	Tumpuan	400	700	19	5
	Lapangan	400	700	19	5
B2	Tumpuan	400	700	19	0
	Lapangan	400	700	19	0
B3	Tumpuan	400	700	19	5
	Lapangan	400	700	19	5
B4	Tumpuan	400	700	19	5
	Lapangan	400	700	19	5
B5	Tumpuan	400	700	19	5
	Lapangan	400	700	19	5
B6	Tumpuan	300	500	19	3
	Lapangan	300	500	19	3
B7	Tumpuan	400	700	19	5
	Lapangan	400	700	19	5
B8	Tumpuan	400	700	19	5
	Lapangan	400	700	19	5
B9	Tumpuan	300	500	13	6
	Lapangan	300	500	13	6
B10	Tumpuan	400	700	12	0
	Lapangan	400	700	12	0
B11	Tumpuan	400	700	19	5
	Lapangan	400	700	19	5
B12	Tumpuan	400	700	19	5
	Lapangan	400	700	19	5

Kontrol Retak

Distribusi tulangan lentur harus diatur sedemikian rupa untuk membatasi retak lentur yang terjadi. Bila tegangan leleh rencana f_y untuk tulangan tarik melebihi 300 MPa, penampang dengan momen *positif* dan *negative* maksimum harus diproporsikan sedemikian hingga nilai Z yang diberikan oleh :

$$Z = f_s \times \sqrt[3]{d_c \cdot A}$$

SNI 03-2847-2002 ps.12.6.butir 4 tidak melebihi 30 MN/m untuk penampang di dalam ruangan.

Dimana :

f_s = tegangan dalam tulangan yang dihitung pada beban kerja,
 f_s dapat diambil 0,6 f_y

$$= 0,6 \times 400 \text{ MPa} = 240 \text{ MPa}$$

d_c = tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan

$$= (\text{decking} + \phi \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan})$$

$$= 40 + 12 + (\frac{1}{2} \times 19) = 61.5 \text{ mm}$$

A = Luas efektif beton tarik di sekitar tulangan lentur tarik dan mempunyai titik pusat yang sama dengan titik pusat tulangan (dalam hal ini diambil selebar 1 m) tersebut dibagi dengan jumlah batang tulangan dalam 1 m tersebut.

Untuk daerah tumpuan

$$A = \frac{b \cdot 2d_c}{n}, \text{ dimana}$$

n = jumlah batang tulangan per lebar balok b

$$A = \frac{400 \times 2 \times 63}{14} = 3514 \text{ mm}^2$$

$$Z = f_s \times \sqrt[3]{d_c \cdot A}$$

$$= 240 \times \sqrt[3]{61.5 \times 3514}$$

$$= 14,402.86 \text{ N/mm} = 14.40 \text{ MN/m} < 25 \text{ MN/m} \dots \text{OK}$$

Untuk daerah tumpuan

$$A = \frac{b \cdot 2dc}{n}, \text{ dimana}$$

n = jumlah batang tulangan per lebar balok b

$$A = \frac{400 \times 2 \times 61.5}{12} = 4100 \text{ mm}^2$$

$$Z = f_s \times \sqrt[3]{dc \cdot A}$$

$$= 240 \times \sqrt[3]{63 \times 4100}$$

$$= 15,162.27 \text{ N/mm} = 15.16 \text{ MN/m} < 25 \text{ MN/m} \dots \text{OK}$$

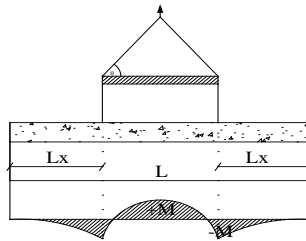
Dan selengkapnya bisa dilihat di tabel 7.7.

Tabel 7.10. Perhitungan gaya dalam terhadap kemungkinan retak

Nama balok	Lokasi	b (mm)	h (mm)	f_s (MPa)	dc	n	A (mm ²)	Z (N/mm)	Cek
B1	Tumpuan	400	700	240	61.5	14	3514	14.40	OK
	Lapangan	400	700	240	61.5	12	4100	15.16	OK
B2	Tumpuan	400	700	240	61.5	8	6150	17.36	OK
	Lapangan	400	700	240	61.5	8	6150	17.36	OK
B3	Tumpuan	400	700	240	61.5	8	6150	17.36	OK
	Lapangan	400	700	240	61.5	8	6150	17.36	OK
B4	Tumpuan	400	700	240	61.5	8	6150	17.36	OK
	Lapangan	400	700	240	61.5	8	6150	17.36	OK
B5	Tumpuan	400	700	240	61.5	8	6150	17.36	OK
	Lapangan	400	700	240	61.5	8	6150	17.36	OK
B6	Tumpuan	300	500	240	61.5	8	4613	15.77	OK
	Lapangan	300	500	240	61.5	10	3690	14.64	OK
B7	Tumpuan	400	700	240	61.5	10	4920	16.11	OK
	Lapangan	400	700	240	61.5	10	4920	16.11	OK
B8	Tumpuan	400	700	240	61.5	18	2733	13.25	OK
	Lapangan	400	700	240	61.5	9	5467	16.69	OK
B9	Tumpuan	300	500	240	61.5	6	6150	17.36	OK
	Lapangan	300	500	240	61.5	6	6150	17.36	OK
B10	Tumpuan	400	700	240	61.5	8	6150	17.36	OK
	Lapangan	400	700	240	61.5	8	6150	17.36	OK
B11	Tumpuan	400	700	240	61.5	10	4920	16.11	OK
	Lapangan	400	700	240	61.5	8	6150	17.36	OK
B12	Tumpuan	400	700	240	61.5	12	4100	15.16	OK
	Lapangan	400	700	240	61.5	9	5467	16.69	OK

7.1.3 Pengangkatan Elemen Balok

Balok induk diproduksi secara pracetak, sehingga perlu dikontrol pada saat pengangkatan.



Gambar 7.7 Momen saat pengangkatan balok dari PCI
Design Handbook

Dimana :

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \cdot \tan \theta} \right)$$

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{L \tan \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_a}{Y_b} \left(1 + \frac{4Y_c}{L \tan \theta} \right)} \right)}$$

Diketahui : Balok induk 40/70 dengan bentang 800 cm

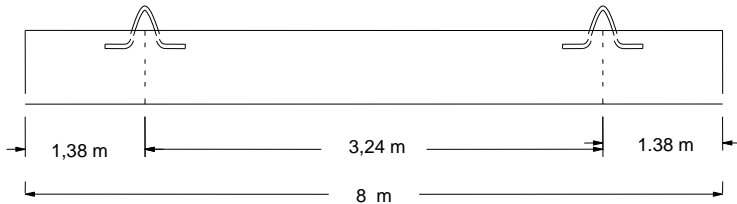
$$Y_a = Y_b = \frac{(50 - 15)}{2} = 17,5 \text{ cm}$$

$$Y_c = Y_a + 5 = 22,5 \text{ cm}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 22,5}{600 \times \tan 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{17,5}{17,5} \left(1 + \frac{4 \times 22,5}{600 \times \tan 45^\circ} \right)} \right)} = 0,23$$

$$X \times L = 0,23 \times 600 = 138 \text{ cm} = 1,38 \text{ m}$$

$$L-2(XL) = 6,0 - 2(0,23 \times 6,0) = 3,24 \text{ m}$$



Gambar 7.8 Jarak Tulangan Angkat

Data – data profil baja :

- Panjang tekuk = 388,8 cm
- Mutu baja Bj 36
- Profil WF 100 x 100 x 6 x 8

$A = 21,9 \text{ cm}^2$	$i_s = 4,18 \text{ cm}$
$i_y = 2,47 \text{ cm}$	$w = 17,2 \text{ kg/m}$

Pembebanan

Balok	=	$0,5 \times 0,7 \times 6 \times 2400$	=	5040 kg
Balok profil	=	$17,2 \times 6$	=	<u>103,2 kg</u> +
			=	5143,20

$$T \sin \emptyset = P = \frac{1,2 \times k \times Wt}{2}$$

$$= \frac{1,2 \times 1,2 \times 5143,2}{2} = 3703,104 \text{ kg}$$

$$T = \frac{3703,104}{\sin 45} = 5236,98 \text{ kg}$$

Tulangan Angkat Balok Melintang

$$P_u = 5236,98 \text{ kg}$$

Menurut PBBI pasal 2.2.2. tegangan ijin tarik dasar baja bertulang mutu $f_y = 400 \text{ Mpa}$ adalah $f_y/1,5$

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = 4000/1,5 = 2666,67 \text{ kg/m}^2$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{\text{ijin}} \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{5236,98}{2666,67 \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq 0,79 \text{ cm}$$

Digunakan Tulangan D 12 mm

Momen Yang Terjadi

- Pembebanan

$$\text{Balok} = 0,50 \times 0,55 \times 2400 = 660 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok profil} &= 17,2 &= \underline{17,20 \text{ kg/m}} + \\ & &= 677,20 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2 :

- Momen Lapangan

$$+ M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \text{tg} \theta} \right)$$

$$\begin{aligned} + M &= \left(\frac{677,20 \times 6^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,24 + \frac{4 \times 0,185}{6,0 \times \text{tg} 45} \right) \right) \times 1,2 \\ &= 597,29 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi :

$$f = \frac{M}{Wt} = \frac{597,29 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 500 \times 550^2}$$

$$= 0,237 \text{ Mpa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 4,14 \text{ Mpa} \dots \text{Ok}$$

- Momen Tumpuan

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$-M = \left(\frac{677,20 \times 0,24^2 \times 6^2}{2} \right) \times 1,2 = 842,55 \text{ kgm}$$

Tegangan yang terjadi :

$$f = \frac{M}{Wt} = \frac{842,55 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 500 \times 550^2}$$

$$= 0,33 \text{ Mpa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 4,14 \text{ Mpa} \dots \text{Ok}$$

Dari perhitungan momen diatas, didapatkan nilai f' akibat momen positif dan negatif berada dibawah nilai $f'_{r_{ijin}}$ usia beton 3 hari. Jadi dapat ditarik kesimpulan, balok anak tersebut aman dalam menerima tegangan akibat pengangkatan.

7.2 Perencanaan Kolom

7.2.1 Perencanaan Kolom

Pada perencanaan Tugas Akhir ini ada 2 tipe kolom, Dengan menggunakan *software SAP2000 v14* diperoleh data-data gaya dalam yang disebabkan jumlahnya terlampau banyak, akan disebutkan nilai-nilai maksimum saja yakni sebagaimana ditamplkan pada tabel berikut:

KOLOM		Aksial (KN)	M _x (KN)	M _y (KN)
K-1	Min	61.404	-219.196	-289.986
	Max	7831.567	228.304	306.374
K-2	Min	19.867	-38.184	-34.789
	Max	1175.2	38.941	31.717

Kolom yang diperhitungkan memiliki data kolom sebagai berikut:

Kolom K-1

- Mutu Beton : 30 Mpa
- Mutu Baja : 400 Mpa
- Dimensi kolom : 60/80 cm
- Tebal *decking* : 40 mm
- Diameter Tulangan Utama (D) : 22 mm
- Diameter Sengkang (Ø) : 13 mm
- $d_y = h - c_c - \phi - 0,5D$
 $= 800 - 40 - 13 - 0,5 \times 22 = 736 \text{ mm}$
- $d_x = h - c_c - \phi - 0,5D$
 $= 600 - 40 - 13 - 0,5 \times 22 = 536 \text{ mm}$

Berdasarkan *SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.2* maka gaya aksial tekan terfaktor komponen struktur SRPMM dikontrol terhadap

$A_g \times \frac{f_c}{10}$, dari tabel 7.1 diatas, didapat gaya aksial tekan terfaktor

yang terbesar adalah 7831,567 kN.

$$\frac{7831,567 \text{ KN}}{0.65} \geq 600 \times 800 \times \frac{30}{10}$$

$$12048.56 \text{ KN} \geq 1440000 \text{ N} = 1440 \text{ kN}$$

Oleh karenanya maka *SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.5* harus dipenuhi.

Kolom K-2

- Mutu Beton : 30 Mpa
- Mutu Baja : 400 Mpa
- Dimensi kolom : 30/30 cm
- Tebal *decking* : 40 mm
- Diameter Tulangan Utama (D) : 16 mm
- Diameter Sengkang (Ø) : 13 mm
- $d_y = h - c_c - \phi - 0,5D$
 $= 300 - 40 - 13 - 0,5 \times 22 = 236 \text{ mm}$
- $d_x = h - c_c - \phi - 0,5D$
 $= 300 - 40 - 13 - 0,5 \times 22 = 236 \text{ mm}$

Berdasarkan *SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.2* maka gaya aksial tekan terfaktor komponen struktur SRPMM dikontrol terhadap $A_g \times \frac{f_c}{10}$, dari tabel 7.1 diatas, didapat gaya aksial tekan terfaktor

yang terbesar adalah 1175,2 kN.

$$1175.2 \geq 300 \times 300 \times \frac{30}{10}$$

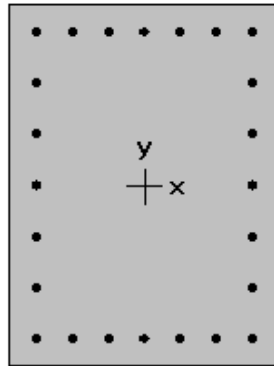
$$1175.2 \text{ kN} \geq 270,000 \text{ N} = 270 \text{ kN}$$

Oleh karenanya maka *SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.5* harus dipenuhi.

7.2.1.1 Penulangan Vertikal

Kolom K-1

Kolom yang direncanakan diberi tulangan 24 D22 atau 1,08% dengan menggunakan *software spColumn*. Sebagaimana diterangkan pada gambar 7.8. berikut:

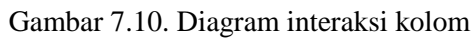


600 × 800 mm

1.93% reinf.

Gambar 7.9. Penulangan kolom K-1

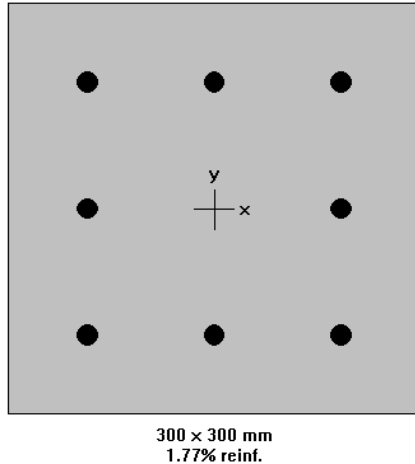
Didapat prosentase tulangan terhadap beton adalah 1.93%. Maka prosentase tulangan terhadap beton prosentase kolom ini sesuai syarat *SNI 03-2847-2002 Ps. 13.4.2.2* yaitu antara 1% - 6% telah terpenuhi.


$$\phi P_n \text{ max} = 0,8 \times \phi \times [0,85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}]$$

$$\phi P_n \max = 8,125.61 \text{ kN} > P_u = 7831,567 \text{ kN} \dots \text{OK}$$

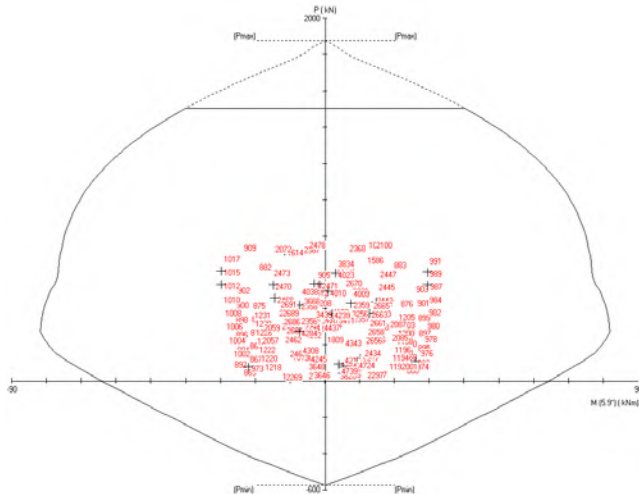
Kolom K-2

Kolom yang direncanakan diberi tulangan 8 dengan menggunakan *software spColumn*. Sebagaimana diterangkan pada gambar 7.9. berikut:



Gambar 7.11. Penulangan kolom K-2

Didapat prosentase tulangan terhadap beton adalah 1.77%. Maka prosentase tulangan terhadap beton prosentase kolom ini sesuai syarat *SNI 03-2847-2002 Ps. 13.4.2.2* yaitu antara 1% - 6% telah terpenuhi.



Gambar 7.12. Diagram interaksi kolom K-2

Menurut *SNI 03-2847-2002 Pasal 12.3.5.2*, kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa struktur.

$$\phi P_n \max = 0,8 \times \phi \times \left[0,85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st} \right]$$

$$A_g = 300 \times 300 = 90,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 0.0177 \times 90,000 = 1,593 \text{ mm}^2$$

$$\phi P_n \max = 4,564,083.71 \text{ N} = 4,564.08 \text{ kN}$$

$$\phi P_n \max = 4,564.08 \text{ kN} > P_u = 1175.2 \text{ kN} \dots \text{OK}$$

7.2.1.2 Penulangan Geser

Sesuai dengan *SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.3*, Gaya geser rencana (V_e) pada komponen struktur tidak boleh kurang dari:

Kolom K-1

- V1 yaitu apa yang didapat dari kombinasi normal
= 127,051 N
- V2 yaitu: Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan akibat beban gravitasi terfaktor.

$$V_e = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n}$$

Dari didapatkan momen nominal kolom sebesar 2074 kNm, $M_{nt} = M_{nb} = 1671$ kNm

$$e = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n} = \frac{2074 + 2074}{3.5} = 1,185 \text{ kN}$$

- V3 yaitu: Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban dengan pengaruh nilai E, dimana nilai E diambil sebesar dua kali dari nilai gempa rencana. Besarnya gaya geser pada kombinasi ini diambil dengan bantuan *software SAP2000* didapat sebesar 163,80 kN.

Nilai gaya geser diambil nilai terbesar dari ketiga nilai yaitu:

- $V_u = 1,185 \text{ kN}$

Daerah sendi plastis

Panjang pengeangan kolom di sendi plastis berdasarkan SNI 03- 2847-2002 Pasal 23.10.5.1,

Panjang l_o :

$$\geq h = 800 \text{ mm}$$

$$\geq \frac{1}{6} \times l_n = \frac{1}{6} \times 4320 = 583,33 \text{ mm}$$

$$\geq 500 \text{ mm}$$

Dari ketiga syarat diatas, lo diambil yang terbesar sehingga jarak pengekanan kolom yang pertama dimulai dari muka hubungan balok-kolom sampai sejarak $l_o = 800$ mm. Kekuatan geser yang disumbangkan beton untuk komponen kolom adalah:

$$N_u = 7,831,570 \text{ N}$$

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \frac{\sqrt{f_c}}{6} \times b_w \times d$$

$$V_c = 880,756.92 \text{ N}$$

Dicoba pasang tulangan $3\phi 13$ ($A_v = 398.19 \text{ mm}^2$)

Dengan s adalah spasi antar tulangan geser dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

$$= 101.47 \text{ mm}$$

Sehingga sengkang $3\phi 13 - 100$ mm dapat digunakan.

➤ Kontrol Jarak Tulangan Transversal maximum Kolom

Spasi maksimum sengkang ikat pada rentan l_o adalah s_o .

Spasi s_o berdasarkan *SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10.5.1*, tidak lebih dari :

- $8 db = 8 (22) = 176 \text{ mm}$
- $24 \text{ diameter sengkang} = 24(13) = 312 \text{ mm}$
- $\frac{1}{2} H \text{ kolom} = \frac{1}{2} (800) = 400 \text{ mm}$
- 300 mm

7.2.1.5 Perencanaan HBK

Sesuai *SNI 03-2847-2002 Ps. 20.10.5.3* bahwa tulangan hubungan balok – kolom untuk struktur SRPMM harus memenuhi persyaratan pada *SNI 03-2847-2002 Ps. 13.11.2*

dimana pada sambungan elemen portal ke kolom harus disediakan tulangan lateral dengan luas tidak kurang dari:

$$A_v = \frac{75\sqrt{f'_c}}{1200} \times \frac{b_w \cdot s}{f_y}$$

dimana A_v tidak boleh kurang dari

$$A_{v_{\min}} = \frac{1}{3} \frac{b_w \times s}{f_y} = \frac{600 \times 100}{3 \times 400} = 83.33 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \frac{75\sqrt{30}}{1200} \times \frac{600 \times 100}{240} = 85.58 \text{ mm}^2$$

Maka cukup digunakan sengkang $3\phi 13$ -100 mm ($A_v = 398.2 \text{ mm}^2$) untuk dipasang didalam HBK.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB VIII

PERENCANAAN SAMBUNGAN

8.1 Umum

Dalam bab ini akan diuraikan kriteria desain sambungan, konsep, jenis sambungan dan hal-hal yang berkaitan dengan alat-alat sambungan. Penggunaan sambungan basah relatif mudah dalam pelaksanaannya jika dibandingkan dengan sambungan kering (*non topping*) seperti *mechanical connection* dan *welding connection* yang cukup kompleks.

Untuk sambungan basah dalam daerah *joint*, diberikan tulangan yang dihitung berdasarkan panjang penyaluran, sambungan lewatan. Selain itu juga dilakukan perhitungan geser friksi yaitu geser beton yang berbeda umurnya antara beton pracetak dengan beton *topping*. Di dalam pelaksanaan biasanya dipakai stud tulangan (*shear connector*) yang berfungsi sebagai penahan geser dan sebagai pengikat antara pelat pracetak dan pelat *topping* agar pelat bersifat secara monolit dalam satu kesatuan integritas struktur.

Sambungan berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang dipikul oleh elemen struktur ke elemen struktur yang lainnya. Gaya-gaya tersebut untuk selanjutnya diteruskan ke pondasi. Selain itu desain sambungan dibuat untuk menciptakan kestabilan. Suatu sambungan diharapkan dapat mentransfer beberapa gaya secara bersamaan.

Dalam pelaksanaan konstruksi beton pracetak, sebuah sambungan yang baik selalu ditinjau dari segi praktis dan ekonomis. Selain itu perlu juga ditinjau *serviceability*, kekuatan dan produksi. Faktor kekuatan khususnya harus dipenuhi oleh suatu sambungan karena sambungan harus mampu menahan gaya-gaya yang dihasilkan oleh beberapa macam beban. Beban-beban tersebut dapat berupa beban mati, beban hidup, beban gempa dan kombinasi dari beban-beban tersebut.

Sambungan antar elemen beton pracetak tersebut harus mempunyai cukup kekuatan, kekakuan dan dapat memberikan kebutuhan daktilitas yang disyaratkan.

Baik sambungan cor setempat maupun sambungan *grouting* sudah banyak dipergunakan sebagai salah satu pemecahan masalah dalam mendesain konstruksi pracetak yang setara dengan konstruksi cor setempat (*cast in situ*).

Berdasarkan UBC 1997 *Section* 1916.6.2.2, jarak masukan (coakan) minimum sebagai tempat bertumpunya balok atau pelat pracetak terhadap elemen pendukungnya terhitung dari ujung balok atau pelat ke tepi elemen pendukungnya harus diambil sebesar :

- $d = 1/180 L_n$, dimana L_n = bentang bersih elemen pracetak tetapi tidak boleh lebih kurang dari :
- Untuk pelat solid / pelat berlubang $\rightarrow 4 d = 2$ in atau 51 mm
- Untuk balok $\rightarrow 4 d = 3$ in atau 76 mm

8.2 Kriteria Perencanaan Sambungan

Kriteria perencanaan sambungan disesuaikan dengan desain, karena ada perbedaan kriteria untuk masing-masing type sambungan. Persyaratan suatu sambungan dapat menjadi syarat yang tidak terlalu penting untuk sambungan lain. Hal ini diakibatkan karena perbedaan asumsi/anggapan atau perbedaan spesifikasi dari pihak perancang dan pemilik struktur.

• Kekuatan

Suatu sambungan harus mempunyai kekuatan untuk menahan gaya-gaya yang diterapkan sepanjang umur dari sambungan. Beberapa dari gaya ini disebabkan oleh gaya gravitasi, angin, gempa dan perubahan volume.

• Daktilitas

Daktilitas sering didefinisikan sebagai kemampuan relatif struktur untuk menampung deformasi yang besar tanpa mengalami runtuh. Untuk material struktur, daktilitas diukur dengan total deformasi yang terjadi saat leleh awal terhadap leleh batas (*ultimate failure*).

Daktilitas pada portal sering digabungkan dengan ketahanan terhadap momen, hal ini dipakai dalam perencanaan gempa. Pada elemen sambungan tahan momen, tegangan tarik lentur biasanya ditahan oleh komponen baja. Dan kondisi runtuh akhir dapat terjadi karena kondisi putusnya baja, hancurnya beton atau kegagalan dari sambungan baja dan beton. Pada perhitungan kali ini menggunakan daktilitas parsial.

- **Daya Tahan**

Sambungan perlu diawasi dan dipelihara. Sambungan yang diperkirakan akan langsung dapat bersentuhan dengan cuaca harus dilakukan tindakan perlindungan dengan beton atau dengan cat (*galvanis*). Daya tahan yang buruk dapat diakibatkan oleh retak, spelling beton dan yang paling sering diakibatkan oleh korosi dari komponen baja elemen beton pracetak.

- **Ketahanan Terhadap Kebakaran**

Beberapa sambungan beton pracetak tak mudah terpengaruh, seperti pada perletakan antara pelat dan balok yang secara umum tidak memerlukan perlindungan secara khusus terhadap api. Apabila pelat diletakkan di atas *bearing pads* yang terbuat dari bahan yang mudah terbakar, maka perlindungan khusus dari *bearing pads* tersebut tidak perlu karena keadaan terburuk dari *pads* tidak akan menyebabkan runtuh, tetapi sesudah kebakaran *pads* harus diganti. Untuk sambungan yang tidak tahan api memerlukan perlindungan khusus seperti dengan melapisi beton, *gypsum wallboard* atau bahan lain yang tahan api.

- **Perubahan Volume**

Kombinasi pemendekan akibat dari rangkai, susut dan penurunan suhu dapat menyebabkan beberapa tegangan pada elemen beton pracetak ataupun perletakannya ditarik pergerakannya. Tegangan ini harus dimasukkan oleh desain dan akan lebih baik bila sambungan diijinkan untuk berpindah tempat untuk mengurangi besarnya tegangan tersebut.

- **Kesederhanaan Sambungan**

Semakin sederhana sambungan maka diharapkan akan semakin ekonomis.

Kriteria penyederhanaan sambungan adalah :

- Memakai bahan-bahan standar
- Menggunakan detail yang sama (berulang)
- Mengurangi bagian-bagian yang perlu ditancapkan pada elemen sehingga memerlukan presisi tinggi untuk menempatkannya.
- Mempersiapkan cara-cara pergantian.

• Kesederhanaan Pemasangan

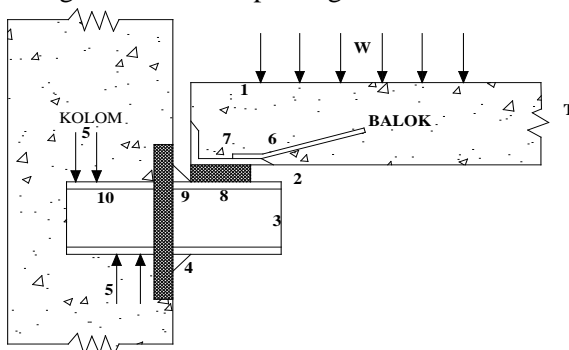
Kesederhanaan pemasangan elemen beton pracetak sangat menentukan keberhasilan pencapaian tujuan penerapan konstruksi beton pracetak. Kesederhanaan pemasangan tidak lepas dari bentuk dan type sambungan yang dipilih. Kesederhanaan suatu sambungan biasanya menjamin dalam kemudahan pemasangan.

8.3 Konsep Desain Sambungan

8.3.1 Mekanisme Pemindahan Beban

Tujuan dari sambungan adalah memindahkan beban dari satu elemen pracetak ke elemen lainnya atau sebaliknya. Pada setiap sambungan, beban akan ditransfer melalui elemen sambungan dengan mekanisme yang bermacam-macam.

Untuk menjelaskan mekanisme pemindahan beban, diambil contoh seperti gambar 8.1. dimana pemindahan beban diteruskan ke kolom dengan melalui tahap sebagai berikut :



Gambar 8.1. Mekanisme Pemindahan Beban

1. Beban diserap pelat dan ditransfer ke perletakan dengan kekuatan geser
2. Perletakan ke *haunch* melalui gaya tekan pads
3. *Haunch* menyerap gaya vertical dari perletakan dengan kekuatan geser dan lentur dari profil baja.
4. Gaya geser vertical dan lentur diteruskan ke pelat baja melalui titik las.
5. Kolom beton memberikan reaksi terhadap profil baja yang tertanam.

Mekanisme pemindahan gaya tarik akibat susut, dapat dijelaskan sebagai berikut :

6. Balok beton ke tulangan dengan lekatan / ikatan.
7. Tulangan baja siku di ujung balok diikat dengan las.
8. Baja siku di ujung balok ke *haunch* melalui gesekan di atas dan di bawah *bearing pads*. Sebagian gaya akibat perubahan volume dikurangi dengan adanya deformasi pada *pads*.
9. Sebagian kecil dari gaya akibat perubahan volume dipindahkan melalui las ke pelat baja.
10. Gaya tersebut ditahan oleh perletakan dan diteruskan oleh *stud* ke kolom beton melalui ikatan / lekatan.

8.3.2 Stabilitas dan Keseimbangan

Adapun permasalahan utama pada struktur beton pracetak biasanya disebabkan oleh kesalahan perencanaan dalam menghitung stabilitas dan keseimbangan dari struktur dan komponen-komponennya, bukan hanya pada kedudukan akhir tetapi juga selama fase pelaksanaan konstruksi.

Sebagai contoh pada balok induk, karena eksentrisitas beban pada balok terjadi torsi dan balok cenderung berputar pada perletakan. Jadi perencanaan perlu untuk memperhitungkan kondisi pada saat pemasangan balok tersebut.

8.3.3 Klasifikasi Sistem dan Sambungannya

Sistem Pracetak didefinisikan dalam 2 kategori yaitu lokasi penyambungan dan jenis alat :

1. Lokasi Penyambungan

Portal daktail dapat dibagi sesuai dengan letak penyambungan dan lokasi yang diharapkan terjadi pelelehan atau tempat sendi daktailnya. Simbol-simbol dibawah ini digunakan untuk mengidentifikasi perilaku dan karakteristik pelaksanaannya:

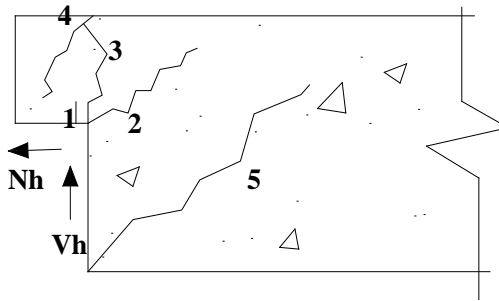
- Strong, sambungan elemen-elemen pracetak yang kuat dan tidak akan leleh akibat gempa yang besar
- Sendi, sambungan elemen-elemen pracetak bila dilihat dari momen akibat beban lateral gempa dapat bersifat sendi
- Daktail, sambungan elemen-elemen pracetak yang daktail dan berfungsi sebagai pemancar energi
- Lokasi sendi plastis, lokasi sendi plastis menunjukkan tempat pelelehan pada elemen struktur jika mengalami beban yang besar.

2. Jenis alat Penyambung

- *Shell* pracetak dengan bagian intinya dicor beton setempat
- *Cold Joint* yang diberi tulangan biasa
- *Cold Joint* yang diberi tulangan pracetak parsial, dimana jointnya *digrouting*
- *Cold Joint* yang diberi tulangan pracetak namun jointnya tidak *digrouting*
- Sambungan-sambungan mekanik

8.3.4 Pola-pola Kehancuran

Sebagian perencanaan diharuskan untuk menguji masing-masing pola kehancuran. Pada dasarnya pola kehancuran kritis pada sambungan sederhana akan tampak nyata. Sebagai contoh pada kehancuran untuk sambungan sederhana dapat dilihat pada gambar 8.2.



Gambar 8.2 Model-model Keruntuhan Sambungan

PCI Design Handbook memberikan lima pola kehancuran yang harus diselidiki pada waktu perencanaan *dapped-end* dari balok, yaitu sebagai berikut :

1. lentur dan gaya tarik aksial pada ujung
2. tarik diagonal yang berasal dari sudut ujung
3. geser langsung antar tonjolan dengan bagian utama balok
4. tarik diagonal pada ujung akhir
5. perletakan pada ujung atau tonjolan

8.4 Pertimbangan Dalam Perancangan

1. Sambungan-sambungan sendi

Pertimbangan pertama adalah menentukan letak sambungan pada titik momen minimum, namun sambungan tersebut masih harus didesain terhadap momen yang masih terjadi. Momen yang terjadi lantai per lantai akibat beban mati ditambah beban hidup juga biasanya tidak banyak berbeda, tetapi pergeseran-pergeseran bidang momen akibat ragam-ragam yang lebih tinggi dalam keadaan *in elastis* perlu diperhatikan.

2. Sambungan daktail pemencar energi

Bila sambungan diletakkan pada titik-titik dimana sendi plastis akan terjadi, maka penyambungannya harus mampu berotasi bolak-balik secara plastis tanpa mengurangi kekuatan momen dan kapasitas geser dari joint tersebut.

Sistem sambungan terjadi sangat kompleks dan sedikit sekali penelitian dilakukan dalam hal ini. Keadaan ini cenderung dihindari oleh para desainer dan letak joint dengan lokasi sendi

plastis berusaha dipisahkan. Dari segi pengerjaan dan pelaksanaan beton pracetak, peletakan lokasi joint yang sama dengan lokasi sendi plastis sangatlah ekonomis sebab elemen-elemen tunggal dan berbentuk lurus dan pengangkutan serta pengangkatannya lebih mudah.

Sebelum pelat mencapai momen lelehnya, keretakan mungkin terjadi pada kolom, sehingga rotasi *post elastis* akan terjadi pada suatu daerah yang menyebabkan peningkatan kekangan pada joint dan *defleksi post yield* elemen baloknya sehingga menghasilkan retakan yang besar pada joint. Beban siklis yang terjadi pada joint di daerah ini mengakibatkan pengurangan gaya gesernya. Regangan-regangan tinggi yang berulang dan bolak-balik pada tulangan yang dimaksud mengakibatkan penurunan momen yang besar jika tidak direncanakan penulangannya. Bila akibat beban tarik kemudian diberi gaya tekan kembali mengakibatkan gaya lateral yang cukup besar pada beton yang berada di sekeliling tulangan, hal ini dapat mengakibatkan pengurangan kapasitas beton untuk menerima gaya tekan bolak-balik.

Untuk struktur beton bertulang cor setempat, degradasi ini diatasi dengan adanya tulangan lateral (*sengkang*). Efektifitas tulangan tersebut yang terletak pada suatu *cold joint* sampai sekarang belum begitu terbukti. Di masa yang akan datang perlu dikembangkan joint-joint yang dapat berperilaku baik dalam keadaan *post yield*.

3. Alat penyambung kuat (tidak leleh dulu dibandingkan sendi plastisnya)

Untuk menghindari letak joint antar elemen pracetak yang bertepatan dengan letak sendi plastis adalah dengan cara memaksakan agar letak sendi tersebut jauh dari joint. Kapasitas elastis pada permukaan kolom harus melebihi dari yang diperkirakan dengan meletakkan sendi plastis tersebut pada pelat.

Kapasitas momen elastis pada bagian muka kolom harus lebih besar daripada kapasitas momen plastis pada lokasi sendi. Regangan dan gaya geser yang lebih tinggi akan timbul jika

pelelehan dan variasinya sama seperti yang digunakan untuk komponen-komponen lain yang sama yaitu sendi plastis dengan komponen pracetak lain.

Agar mekanisme yang diharapkan dapat tercapai maka kapasitas momen kolom gabung harus lebih besar daripada kapasitas yang dihasilkan pada saat sendi plastis menempel pada kolom. Sambungan-sambungan dapat direncanakan secara plastis dengan banyak kemungkinan jenis-jenis sambungan yang dapat dipakai diantaranya sambungan las, sambungan *post tension* atau sambungan *grouting*.

4. Sambungan cold joint yang diberi tulangan biasa

Jenis joint ini diletakkan di daerah momen yang kecil. Pemakaian yang umum yaitu dengan menggunakan sendi yang bebas berputar, sebab biasanya sendi tersebut dipasang di daerah yang secara analisa memang terjadi persendian (*inflection point*).

Pada permukaan elemen pracetak direncanakan suatu sambungan yang tidak akan terjadi pelelehan sambungan. Dan sudut pelaksanaannya adalah sangat menguntungkan dan agar panjang sambungan sependek mungkin serta mengurangi kemungkinan besarnya momen yang terjadi.

Transfer bond dan tegangan yang berasal dari tulangan tarik biasanya sering dipilih sebab tidak akan menimbulkan masalah yang berarti pada waktu pemasangan *mechanical aplices*. Transfer geser diperbaiki dengan mengubah tulangan pengeang.

Sambungan-sambungan basah biasanya tidak dapat dipakai pada sambungan kolom sehingga kebanyakan digunakan sambungan *dowel* atau sambungan-sambungan mekanik. Untuk gempa besar biasanya jenis sambungan ini tidak dapat memenuhi persyaratan. Selain terjadi gaya geser yang cukup besar yang harus ditransferkan, juga terjadi momen yang cukup besar akibat pergeseran *inflection point* akibat sifat-sifat *in elastis* bila terjadi cukup banyak sendi-sendi plastis pada struktur. Pengaruh ragam yang lebih tinggi dapat menggeser letak *inflection point* pada analisa elastis. Gaya geser yang cukup besar dapat ditransferkan lewat *shear keys*.

8.5 Penggunaan Topping Beton

Penggunaan topping beton komposit disebabkan karena berbagai pertimbangan. tujuan utamanya adalah :

1. Untuk menjamin agar lantai beton pracetak dapat bekerja sebagai satu kesatuan diafragma horizontal yang cukup kaku.
2. Agar penyebaran atau distribusi beban hidup vertical antar komponen pracetak lebih merata.
3. Meratakan permukaan beton karena adanya perbedaan penurunan atau camber mereduksi kebocoran air.

Tebal topping umumnya berkisar antara 50 mm sampai 100 mm.

Pemindahan sepenuhnya gaya geser akibat beban lateral pada komponen struktur komposit tersebut akan bekerja dengan baik selama tegangan geser horizontal yang timbul tidak melampaui 5.50 kg/cm^2 . Bila tegangan geser tersebut dilampaui, maka topping beton tidak boleh dianggap sebagai struktur komposit. melainkan harus dianggap sebagai beban mati yang bekerja pada komponen beton pracetak tersebut.

Kebutuhan baja tulangan pada topping dalam menampung gaya geser horizontal tersebut dapat direncanakan dengan menggunakan geser friksi (*shear friction concept*).

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \cdot \mu} \geq A_{vf} \text{ min}$$

dimana :

A_{vf} = luas tulangan geser friksi

V_n = luas geser nominal $< 0,2 f_c A_c$ (Newton)

$< 5,5 A_c$ (Newton)

A_c = luas penampang beton yang memikul penyaluran geser

f_y = kuat leleh tulangan

μ = koefisien friksi (1)

$$A_{vf \text{ min}} = 0,018 A_c \quad \text{untuk baja tulangan mutu 400 Mpa}$$

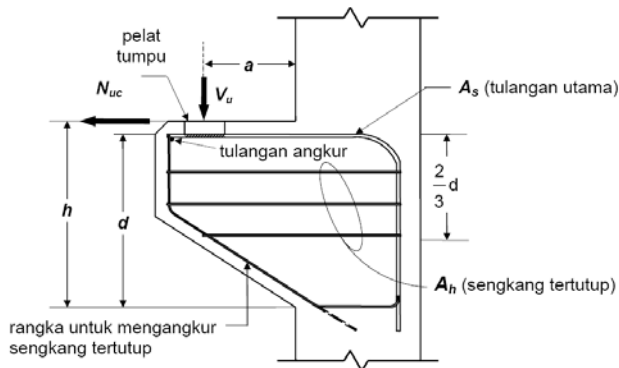
$$= 0,018 \frac{400}{f_y} A_c \quad \text{untuk tulangan } f_y > 400 \text{ Mpa diukur}$$

pada teg. leleh 0,35% = dalam segala hal tidak boleh kurang dari 0,0014 A_c .

8.6 Perencanaan Sambungan

8.6.1 Perencanaan Konsol pada Kolom

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan kolom dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakkan pada konsol yang berada pada kolom yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Bentuk konsol pendek yang dipakai dapat dilihat pada gambar 7.3 berikut ini :



Gambar 8.3 Sistem Penulangan Konsol Pendek

Ketentuan SNI 03-2847-2002 pasal 13.9 tentang perencanaan konsol pendek yang diatur sebagai berikut :

1. Perencanaan konsol pendek dengan rasio bentang geser terhadap tinggi efektif a/d tidak lebih besar dari pada satu, dan memikul gaya tarik horizontal N_{uc} yang tidak lebih besar dari pada V_u . Jarak d harus diukur pada muka tumpuan.
2. Tinggi konsol pada tepi luar daerah tumpuan tidak boleh kurang dari pada $0,5d$

3. Penampang pada muka tumpuan harus direncanakan untuk memikul secara bersamaan suatu geser V_u suatu momen $V_u a + N_{uc} (h - d)$, dan suatu gaya tarik horizontal N_{uc} .
 - 1) Di dalam suatu perhitungan perencanaan yang sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 13.9, faktor reduksi kekuatan ϕ harus diambil sebesar 0,75.
 - 2) Perencanaan tulangan geser friksi A_{vf} untuk memikul geser V_u harus memenuhi ketentuan SNI 03-2847-2002 pasal 13.7 :
 - (1) Untuk beton normal, kuat geser V_n tidak boleh diambil lebih besar daripada $0,2 f_c b_w d$ ataupun $5,5 b_w d$ dalam Newton.
 - (2) Untuk beton ringan total atau beton ringan pasir, kuat geser V_n tidak boleh diambil melebihi $\left(0,2 - 0,007 \frac{a}{d} \right) f_c b_w d$ ataupun $\left(5,5 - 1,9 \frac{a}{d} \right) b_w d$ dalam Newton.
 - (3) Tulangan A_f untuk menahan momen $[V_u a + N_{uc} (h - d)]$ harus dihitung menurut SNI 03-2847-2002 pasal 12.2 dan pasal 12.3
 - (4) Tulangan A_n untuk menahan gaya tarik N_{uc} harus ditentukan dari $N_{uc} \leq \phi A_n f_y$. Gaya tarik N_u tidak boleh diambil kurang daripada $0,2 V_u$ kecuali bila digunakan suatu cara khusus untuk mencegah terjadinya gaya tarik. Gaya tarik N_{uc} harus dianggap sebagai suatu beban hidup walaupun gaya tarik tersebut timbul akibat rangkai, susut, atau perubahan suhu.
 - (5) Luas tulangan tarik utama A_s harus diambil sama dengan nilai terbesar dari $(A_f + A_n)$ atau $\left(\frac{2A_{vf}}{3} + A_n \right)$

4. Sengkang tertutup atau sengkang ikat yang sejajar dengan A_{sf} dengan luas total A_h yang tidak kurang daripada 0,5 ($A_s - A_n$), harus disebarikan secara merata dalam rentang batas dua pertiga dari tinggi efektif konsol, dan dipasang bersebelahan dengan A_s .
5. Rasio $\rho = \frac{A_s}{bd}$ tidak boleh diambil kurang daripada $0,04 \frac{f_c}{f_y}$
6. Pada muka depan konsol pendek, tulangan tarik utama A_s harus diangkurkan dengan salah satu cara berikut :
 - (a) Dengan las struktural pada suatu tulangan transfersal yang diameternya minimal sama dengan diameter tulangan A_s , las harus direncanakan agar mampu mengembangkan kuat leleh f_y dari batang tulangan A_s
 - (b) Dengan menekuk tulangan tarik utama A_s sebesar 180° hingga membentuk suatu loop horizontal atau
 - (c) Dengan cara lain yang mampu memberikan pengangkurkan yang baik.
7. Luas daerah penumpu beban pada konsol pendek tidak boleh melampaui bagian lurus batang tulangan tarik utama A_s , dan tidak pula melampaui muka dalam dari batang tulangan angkur transversal (bila dipasang).

Contoh perhitungan :

Dari output analisis dengan software SAP2000 kombinasi 3 (1,2D+1L+1E) didapatkan:

$$V_u = 322,089.46 \text{ N}$$

$$N_u = 92,994.49 \text{ N}$$

Data Perencanaan :

Dimensi Balok 40 / 70

Dimensi konsol :

$$b_w = 100 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$d = 800 - 40 - 22 = 749 \text{ mm}$$

$$f_c' = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$a = 20 \text{ mm}$$

Ketentuan yang digunakan dalam perencanaan konsol pendek ini, sesuai dengan SNI 03-2847-2002 Pasal 13.9, maka geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi pada konsol pendek tersebut harus sesuai dengan yang diisyaratkan oleh SNI 03-2847-2002 Pasal 13.9.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

Cek-1

$$a/d = 50 / 749 = 0,067 < 1 \dots \text{OK}$$

- $N_{uc} \leq V_u$
 $N_{uc} = 0,2 \times V_u$
 $= 0,2 \times 322,089.46$
 $= 64,417.89 \text{ N} \leq 92,994.49 \text{ N} \dots \text{OK}$

Maka N_u pakai = 92,994.49 N

Sesuai dengan pasal 13.9.3.1, ϕ diambil sebesar 0,75.

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = 429,452.61 \text{ N}$$

Cek-2

$$0,2 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot d = 449,092.46 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

Cek-3

$$5,5 b_w d = 910,181 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

Luas tulangan geser friksi :

Hubungan konsol dengan kolom monolit, beton normal maka nilai koefisien gesek $\mu = 1,4$ (SNI 03-2847-2002 Pasal 13.7.4.3)

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \cdot \mu} \text{ (SNI 03-2847-2002 pasal 13.7.4.1)}$$

$$= 766.88 \text{ N}$$

Luas tulangan lentur :

Perletakan yang akan digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi-rol yang mengijinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horizontal, maka gaya horizontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Maka sesuai dengan SNI 03-2847 pasal 13.9.3.4, akan digunakan N_{uc} minimum.

$$\begin{aligned} Mu &= V_u a + N_{uc} (h-d) \\ &= Nmm \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f_c} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,445$$

$$Rn = \frac{Mu}{0,8 \times 1000 \times dx^2} = \frac{21068930}{0,8 \times 1000 \times 335^2} = 0,235 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{13,445} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,445 \times 0,235}{400}} \right) \\ &= 0,000589 < \rho_{min} = 0,0035, \text{ maka dipakai } \rho_{min} = 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_f &= \frac{Vua + Nuc (h - d)}{0,85 \cdot \phi \cdot fy \cdot d} \\ &= 1,603.01 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan pokok As :

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \cdot fy} = 309.98 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = 0,04 \left(\frac{fc'}{fy} \right) b \cdot d = 224.7 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_s &= (A_f + A_n) \\ &= (644,875 + 53,41) \\ &= 698,285 \text{ mm}^2 \text{ (menentukan)} \end{aligned}$$

$$A_s = \left(\frac{2A_{vf}}{3} + A_n \right)$$

$$= \left(\frac{2 \times 190,738}{3} + 53,41 \right)$$

$$= 180,57 \text{ mm}^2$$

Jadi dipakai tulangan 4D16 ($A_s = 804,248 \text{ mm}^2$)

$$A_h = 0,5(A_s - A_n) = 0,5 \times (698,285 - 53,41) = 322,438 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang 4Ø13 = 530,929 mm²

Dipasang sepanjang $(2/3)d = (2/3) \times 335 = 223 = 250 \text{ mm}$ (vertikal)

dipasang 4Ø13 dengan spasi $250/4 = 62,5 \text{ mm}$

Luas pelat landasan :

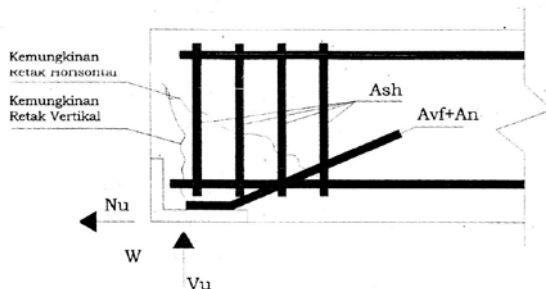
$$V_n = \phi \cdot (0,85) \cdot f_c \cdot A_l$$

$$A_l = \frac{106813,33}{0,85 \times 35 \times 0,75} = 4787,152 \text{ mm}^2$$

dipakai pelat landasan $250 \times 300 \text{ mm}^2 = 75000 \text{ mm}^2$

(tebal 15 mm)

8.7.3 Perencanaan Reinforced Concrete Bearing



Gambar 8.4 Rencana Tulangan pada Balok Induk

Perencanaan penulangan ujung balok induk pada tugas akhir ini didasarkan pada buku PCI DESIGN HANDBOOK (Fourth Edition) section 6.9 yaitu tentang concrete brackets or cobel. Karena dihitung dengan PCI maka satuan yang dipakai adalah :

- Lb atau kips untuk satuan gaya
- In untuk besaran panjang
- Psi untuk fc'
- Ksi untuk fy

Hal ini karena berkaitan dengan koefisien-koefisien yang akan dipakai. Menurut SNI 03-2847-2002, bearing strength on plain concrete adalah :

$$\phi V_n = \phi C_r (0,8 \cdot fc' A_s) \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2 \cdot fc' A_1$$

Dimana :

$$\phi = 0,7$$

$$C_r = \left(\frac{S_w}{200} \right) \left(\frac{N_u}{V_u} \right) = 1 \text{ bila tidak ada goyangan horizontal}$$

yang berarti

A_1 = luas permukaan beton yang mendukung beton

A_2 = luas proyeksi permukaan A_1

Batas searing strength adalah $\phi V_n = \phi \cdot 0,85 \cdot fc' \cdot b_w$

Jika $V_u > \phi V_n$ hasil design bearing strength on plain concrete maka perlu tulangan end bearing. Penulangan end bearing. Penulangan end bearing berdasarkan analisa geser friksi. Prosedur yang digunakan PCI adalah sebagai berikut :

1. Diasumsikan sudut retak adalah vertikal $\theta = 0^\circ$
2. Hitung tulangan horizontal

$$A_t = A_{vf} + A_n = \frac{V_u}{\phi \cdot fy \cdot \mu} + \frac{N_u}{\phi \cdot fy}$$

3. Sudut penanaman adalah 15° seperti yang disarankan pada referensi
4. Nilai $\mu = 1,4$ $\lambda = 1,4 \times 1 = 1,4$
5. Hitung tulangan sengkang

$$A_{sh} = \frac{(A_{vf} + A_n)fy}{\mu_e \cdot f_{ys}}$$

$$\text{dimana } \mu_e = \frac{1000 \cdot \lambda \cdot A_{cr} \cdot \mu}{(A_{vf} + A_n) f_y}$$

$$A_{cr} = I_d \cdot b$$

$$B = \text{lebar balok}$$

$$I_d = \text{panjang penanaman}$$

$$f_{ys} = \text{mutu baja sengkang } A_{sh}$$

6. Nilai maksimum V_n dari PCI design handbook table 6.7.1 untuk beton cor monolit 1000 . $\lambda^2 \cdot A_{cr}$, $\mu_{\text{recommended}} = 1,4$
 $\lambda \mu_e \text{ max} = 3,4$

Contoh perhitungan

$$V_u = 95679,84 \text{ N} = 21,53 \text{ kips}$$

$$N_u = 0,2 \times V_u = 0,2 \times 21,53 \text{ kips} = 4,31 \text{ kips}$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa} = 57970 \text{ Psi}$$

$$f_c' = 35 \text{ Mpa} = 5072 \text{ Psi}$$

Dimensi balok anak sebelum komposit 30/35 cm²

$$\text{Sehingga } h = 35 \text{ cm} = 13,77 \text{ in}$$

$$\text{Dipakai pelat landasan : } b = 30 \text{ cm} = 11,80 \text{ in}, w = 15 \text{ cm} = 5,9 \text{ in}$$

$$A_{cr} = b \cdot h = 11,80 \times 13,77 = 162,49 \text{ in}^2$$

Cek $V_{n \text{ max}}$ dari PCI Design Handbook table 6.7.1

$$1000 \lambda^2 A_{cr} = 1000 (1,0)^2 (162,49) / 1000 = 162,49 \text{ kips}$$

$$\text{Max } V_u = 0,85 (162,49) = 138,117 \text{ kips} > V_u = 21,53 \text{ kips} \dots \text{OK}$$

$$\mu_e = \frac{1000 \cdot \lambda \cdot A_{cr} \cdot \mu}{V_u} = \frac{1000 \cdot 1 \cdot 162,49 \cdot 1,4 \cdot 1}{58,62 \cdot 1000} = 10,57 > 3,4$$

dipakai 3,4

$$A_{vf} = \frac{V_u}{\phi \cdot f_y \cdot \mu_e} = \frac{21,53 \times 1000}{0,85 \times 57970 \times 3,4} = 0,128 \text{ in}^2$$

$$A_n = \frac{N_w}{\phi \cdot f_y} = \frac{4,31 \times 1000}{0,65 \cdot 57970} = 0,114 \text{ in}^2$$

$$A_{vf} + A_n = 0,128 + 0,114 = 0,242 \text{ in}^2$$

$$\text{Dipakai 4D10} = 615,44 \text{ mm}^2 = 0,663 \text{ in}^2$$

Panjang I_d sesuai dengan table design Aid 11.2.8

Untuk $f_c = 5000$ Psi dan tulangan D10 mm \approx #4

Dipakai $I_d = 13$ in ≈ 35 cm

$$A_{cr} = I_d \cdot b = 13 \cdot 13,78 = 179,14 \text{ in}^2$$

$$\mu_e = \frac{1000 \cdot \lambda \cdot A_{cr} \cdot \mu}{(A_{vf} + A_n) f_y}$$

$$\mu_e = \frac{1000 \cdot 1 \cdot 179,14 \cdot 1,4}{0,242 \times 57970} = 17,88 > 3,4$$

Dipakai $\mu_e = 3,4$

$$A_{sh} = \frac{(A_{vf} + A_n) f_y}{\mu_e \cdot f_{ys}} = 0,08 \text{ in}^2$$

Dipakai 4D12 = $452,389 \text{ mm}^2 = 0,701 \text{ in}^2$

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IX

PERENCANAAN PONDASI

9.1 Umum

Pada umumnya Pondasi merupakan komponen struktur pendukung bangunan yang terbawah dan berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah. Dalam perencanaannya, pondasi terdiri dari dua jenis, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal dipakai untuk struktur dengan beban yang relatif kecil, sedangkan untuk pondasi dalam dipakai untuk struktur dengan beban yang relatif besar seperti pada gedung yang berlantai banyak. Jika perbandingan antara kedalaman pondasi (D) dengan diameternya (B) adalah lebih besar sama dengan 10 ($D/B \geq 10$), maka pondasi tersebut dapat direncanakan sebagai pondasi dalam. Pondasi dalam ini ada beberapa macam jenis, antara lain pondasi tiang pancang pondasi tiang bor (pondasi sumuran), pondasi *caisson* dan lain sebagainya.

Pada perencanaan ini, digunakan pondasi dalam yaitu pondasi tiang pancang.

9.2 Data Tanah

Sebelum merencanakan pondasi yang akan digunakan, perlu dilakukan Penyelidikan tanah yang berfungsi untuk mengetahui jenis dari tanah tersebut sehingga dapat dilakukan perencanaan pondasi yang sesuai dengan jenis dan kemampuan daya dukung tanah. Perencanaan pondasi pada gedung ini sesuai dengan penyelidikan tanah di lapangan. Adapun data tanah yang telah tersedia di lapangan meliputi data penyelidikan tanah hasil SPT .

9.3 Spesifikasi Tiang Pancang

Pada perencanaan pondasi gedung ini, digunakan pondasi tiang pancang jenis *square pile* Produk dari PT. Wijaya Karya Beton.

1. Tiang pancang beton pracetak (*precast concrete pile*) dengan bentuk penampang persegi.
2. Mutu beton tiang pancang K-600 (*concrete cube compressive strength is 600 kg/cm² at 28 days*).

Berikut ini, spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan,

- o Panjang sisi persegi : 400 mm
- o Tipe : A
- o *Bending momen crack* : 5.57tm
- o *Bending momen ultimate* : 9.42 tm
- o *Allowable axial* : 161.68 ton

9.4 Daya Dukung

9.4.1 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Daya dukung pada pondasi tiang pancang ditentukan oleh dua hal, yaitu daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang pondasi (Q_p) dan daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah (Q_s). Sehingga daya dukung total dari tanah dapat dirumuskan : $Q_u = Q_p + Q_s$

Di samping peninjauan berdasarkan kekuatan tanah tempat pondasi tiang pancang di tanam, daya dukung suatu tiang juga harus ditinjau berdasarkan kekuatan bahan tiang pancang tersebut. Hasil daya dukung yang menentukan yang dipakai sebagai daya dukung ijin tiang. Perhitungan daya dukung dapat ditinjau dari dua keadaan, yaitu daya dukung tiang pancang tunggal yang berdiri sendiri dan daya dukung tiang pancang dalam kelompok

Perhitungan daya dukung tiang pancang ini dilakukan berdasarkan hasil uji *SPT* menurut Luciano Decourt

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

Dimana :

Q_L = Daya dukung tanah maksimum pada pondasi

Q_p = *Resistance ultime* di dasar pondasi

Q_s = *Resistance ultime* akibat lekatan lateral

$$Q_p = q_p \cdot A_p = (N_p \cdot K) \cdot A_p$$

Dimana :

- A_p = Luas penampang ujung tiang
 N_p = Harga rata – rata SPT 4B diatas dasar pondasi dan 4B dibawah dasar pondasi.
 K = Koefisien karakteristik tanah
 $12t/m^2 = 117,7 \text{ kPa}$, untuk lempung
 $20t/m^2 = 196 \text{ kPa}$, untuk lanau berlempung
 $25t/m^2 = 245 \text{ kPa}$, untuk lanau berpasir
 $40t/m^2 = 392 \text{ kPa}$, untuk pasir
 Q_p = Tegangan di ujung tiang
 $Q_s = q_s \cdot A_s = (N_s/3 + 1) \cdot A_s$

Dimana :

- q_s = Tegangan akibat lekatan lateral dalam t/m^2
 N_s = Harga rata-rata SPT sepanjang tiang yang tertanam, dengan batasan ; $3 \leq N \leq 50$
 A_s = Keliling x panjang tiang yang terbenam

Harga N di bawah muka air tanah harus dikoreksi menjadi N' berdasarkan perumusan sebagai berikut (Terzaghi & Peck):

$$N' = 15 + 0,5 (N-15)$$

Dimana:

N = Jumlah pukulan kenyataan di lapangan untuk di bawah muka air tanah

9.4.2 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Untuk daya dukung pondasi group,terlebih dahulu dikoreksi dengan apa yang disebut dengan koefisien efisiensi C_e .

$$Q_{L(\text{group})} = Q_{L(1 \text{ tiang})} \times n \times C_e$$

dengan n = jumlah tiang dalam group

Untuk menghitung koefisien efisiensi C_e , digunakan cara

:*Converse – Labarre*

$$C_e = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{\phi}{s}\right)}{90^\circ} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

dimana :

- \emptyset = diameter tiang pondasi
 S = jarak as ke as antar tiang dalam group
 m = jumlah baris tiang dalam group
 n = jumlah kolom tiang dalam group

9.4.3 Repartisi Beban di Atas Tiang Berkelompok

Bila di atas tiang-tiang dalam kelompok yang disatukan oleh sebuah kepala tiang (*poer*) bekerja beban-beban vertikal (V), horizontal (H), dan momen (M), maka besarnya beban vertikal ekuivalen (P_v) yang bekerja pada sebuah tiang adalah:

$$P_v = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y \bullet x_{\max}}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \bullet y_{\max}}{\sum y^2}$$

dimana :

- P_v = Beban vertical ekuivalen
 V = Beban vertical dari kolom
 n = Banyaknya tiang dalam group
 M_x = Momen terhadap sumbu x
 M_y = Momen terhadap sumbu y
 x_{\max} = Absis terjauh terhadap titik berat kelompok tiang
 y_{\max} = Ordinat terjauh terhadap titik berat kelompok tiang
 $\sum x^2$ = Jumlah dari kuadrat absis tiap tiang terhadap garis netral group
 $\sum y^2$ = Jumlah dari kuadrat ordinat tiap tiang terhadap garis netral group

nilai x dan y positif jika arahnya sama dengan arah e, dan negative bila berlawanan dengan arah e.

9.5 Perhitungan Tiang Pancang

Data-data perhitungan pondasi tiang pancang yang diperoleh dari *software SAP* (analisa struktur) :

- $P = 678.32$ ton
 $M_{ux} = 36.22$ ton-m
 $M_{uy} = 34.92$ ton-m

$$H_x = 12.4 \quad \text{ton}$$

$$H_y = 9.91 \quad \text{ton}$$

9.5.1 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Dari hasil data tanah yang didapatkan dari Lab Mektan ITS digunakan contoh untuk kedalaman 27 mdengan diameter tiang pancang 600 mm (lihat Tabel 9.1).

Dari data tanah tersebut kemudian dihitung menggunakan persamaan *Luciano Decourt* :

$$Q_N = Q_p + Q_s$$

Dimana

$$Q_p = (N_p \cdot K) \cdot A_p$$

Tabel 9.1. Qp titik BH-1

Depth	N	N'	K	qp	Ap	Np	Qp
(m)			(t/m ²)	(t/m ²)	m ²		(ton)
0.0	0	0	25	0	0.2827	0.00	0.00
2.0	3	9	25	175	0.2827	0.67	32.99
4.0	9	12	12	140	0.2827	3.67	145.14
6.0	13	14	12	174	0.2827	5.33	262.39
8.0	20	17.5	12	256	0.2827	8.33	603.19
10.0	50	32.5	12	294	0.2827	16.67	1385.44
12.0	32	23.5	12	354	0.2827	14.33	1434.64
14.0	50	32.5	12	354	0.2827	16.67	1668.19
16.0	50	32.5	12	390	0.2827	14.33	1580.54
18.0	50	32.5	12	390	0.2827	16.67	1837.83
20.0	50	32.5	40	980	0.2827	14.33	3971.60

Tabel 9.2. Qp titik BH-2

Depth (m)	N	N'	K (t/m ²)	qp (t/m ²)	Ap m ²	Np	Qp (ton)
0.0	0	0	25	0	0.2827	2.00	0.00
2.0	3	3	12	78	0.2827	7.00	154.38
4.0	18	17	12	158	0.2827	13.33	595.65
6.0	25	20	12	220	0.2827	9.00	559.83
8.0	22	19	12	228	0.2827	9.00	580.19
10.0	22	19	12	278	0.2827	16.67	1310.04
12.0	50	33	12	334	0.2827	16.67	1573.94
14.0	50	33	12	390	0.2827	16.67	1837.83
16.0	50	33	12	390	0.2827	16.67	1837.83
18.0	50	33	12	390	0.2827	16.67	1837.83
20.0	50	33	12	292	0.2827	16.67	1376.02

$$Q_s = (N_s/3 + 1) \cdot A_s$$

Tabel 9.3. Qs titik BH-1

Depth (m)	Ns1	Ns	qs (t/m ²)	As m ²	β	Qs (ton)
0.0	3	3	2	0	1.00	0.0
2.0	9	6	3	4	1.00	11.3
4.0	12	8	4	8	1.00	27.6
6.0	14	10	4	11	1.00	47.1
8.0	18	11	5	15	1.00	70.9
10.0	33	15	6	19	1.00	111.0
12.0	24	16	6	23	1.00	142.7
14.0	33	18	7	26	1.00	184.7
16.0	33	20	8	30	1.00	227.3
18.0	33	21	8	34	1.00	270.3
20.0	33	22	8	38	1.00	313.6

Tabel 9.4. Qs titik BH-2

Depth (m)	Ns1	Ns	qs (t/m ²)	As m ²	β	Qs (ton)
0.0	3	3	2	0	1.00	0.0
2.0	3	3	2	4	1.00	7.5
4.0	17	8	4	8	1.00	26.4
6.0	20	11	5	11	1.00	51.4
8.0	19	12	5	15	1.00	76.4
10.0	19	13	5	19	1.00	102.1
12.0	33	16	6	23	1.00	143.3
14.0	33	18	7	26	1.00	185.3
16.0	33	20	8	30	1.00	227.9
18.0	33	21	8	34	1.00	270.9
20.0	33	22	8	38	1.00	314.2

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

$$Q_U = P_{ijin} \text{ 1 tiang} = \frac{Q_L}{SF}$$

Tabel 9.5. QU titik BH-1

Depth (m)	QL (ton)	SF 3	QU (Ijin)
0.0	0.0	3	0.00
2.0	44.3	3	14.77
4.0	172.8	3	57.60
6.0	309.5	3	103.17
8.0	674.1	3	224.69
10.0	1496.4	3	498.82
12.0	1577.4	3	525.79
14.0	1852.9	3	617.64
16.0	1807.8	3	602.62
18.0	2108.1	3	702.71
20.0	4285.2	3	1428.40

Tabel 9.6. QU titik BH-2

Depth	QL	SF	QP
(m)	(ton)	3	(ljin)
0.0	0.0	3	0.00
2.0	161.9	3	53.97
4.0	622.0	3	207.35
6.0	611.2	3	203.73
8.0	656.6	3	218.86
10.0	1412.1	3	470.72
12.0	1717.2	3	572.40
14.0	2023.1	3	674.37
16.0	2065.7	3	688.57
18.0	2108.7	3	702.90
20.0	1690.2	3	563.39

Berdasarkan Tabel 11.1 diatas, daya dukung 1 pondasi berdiameter 60 cm pada kedalaman 27 m adalah 157,558 ton, sehingga untuk beban aksial total sebesar 473,595 ton dibutuhkan minimal tiang pancang 3 buah. Sehingga digunakan tiang pancang sebanyak 9 buah.

9.5.2 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Jumlah Tiang pancang didesain jaraknya sesuai yang diijinkan. Tebal poer yang direncanakan pada Tiang pacang group ini sebesar 1 meter.

- Jarak antar tiang :

$$2,5 D \leq S \leq 3 D$$

$$2,5 \times 60 \leq S \leq 3 \times 60$$

$$150 \text{ cm} \leq S \leq 180 \text{ cm}$$

Digunakan jarak antar tiang = 150 cm

- Jarak tepi tiang pancang :

$$1,5 D \leq S_1 \leq 2 D$$

$$1,5 \times 60 \leq S_1 \leq 2 \times 60$$

$$90 \text{ cm} \leq S_1 \leq 120 \text{ cm}$$

Digunakan jarak tiang ke tepi = 90 cm

➤ Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok:

Perhitungan Koefisien Ce

Dengan menggunakan perumusan Converse – Laberre :

$$Ce = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{D}{s}\right)}{90^0} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

Dimana :

D = diameter tiang pancang

S = jarak antar tiang pancang

m = jumlah baris tiang pancang dalam grup = 2

n = jumlah kolom tiang pancang dalam grup = 2

$$Ce = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{600}{1500}\right)}{90^0} \times \left(2 - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}\right) = 0,758$$

$$Q_{L(\text{group})} = Q_{L(1 \text{ tiang})} \times n \times Ce$$

n = jumlah tiang pancang dalam satu grup = 5

$$Q_{L(\text{group})} = 229 \times 5 \times 0,758 = 867.64 \text{ ton} \dots \text{OK}$$

Beban kolom max $678.32 < Q_L = 867.64 \text{ Ton}$

9.5.3 Kontrol Beban Maksimum Tiang

$$\begin{aligned} M_x &= M_{ux} + (H_y \times t_{\text{poer}}) \\ &= 15651,4 + (5654 \times 1,0) \\ &= 21305,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= M_{uy} + (H_x \times t_{\text{poer}}) \\ &= 14999,4 + (4514 \times 1,0) \\ &= 19513,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\sum y_i^2 = 4 (1,5)^2 = 9 \text{ m}^2$$

$$\sum x_i^2 = 6 (0,75)^2 = 3,375 \text{ m}^2$$

$$P_v = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y \bullet x_{\text{max}}}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \bullet y_{\text{max}}}{\sum y^2} \leq P_{ijin} \text{ 1 tiang}$$

$$P_v = \frac{522195}{9} + \frac{19513,4 \times 0,75}{3,375} + \frac{21305,4 \times 1,5}{9}$$

$$= 65908,878 \text{ kg}$$

Jadi beban maksimum yang diterima oleh satu buah tiang pancang yang dikelompokkan dengan kepala poer adalah

$$P_v = 65908,878 \text{ kg} < Q_{ijin} = 157558 \text{ kg} \dots \text{OK!}$$

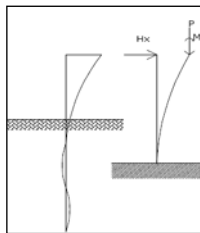
9.5.4 Kontrol Kekuatan Tiang Pondasi

➤ Kontrol terhadap Gaya Aksial:

Untuk Ø60 cm kelas C pada Wika Piles Classification gaya aksial tidak diperkenankan melebihi 211,6 ton.

$$P_{max} = 65,908 \text{ ton} < P_{ijin} = 211,6 \text{ ton} \dots \dots \dots \text{OK}$$

➤ Kontrol Kekuatan Tiang terhadap gaya Lateral:



Gambar 9.2 Diagram Gaya Lateral Tiang Pondasi

Panjang jepitan kritis tanah terhadap tiang pondasi menurut metode Philipponat dimana kedalaman minimal tanah terhadap tiang pondasi didapat dari harga terbesar dari gaya-gaya berikut :

Monolayer : 3 meter atau 6 kali diameter

Multilayer : 1,5 meter atau 3 kali diameter

Perhitungan :

$$P = 678.32 \text{ ton}$$

$$M_{ux} = 36.22 \text{ ton}$$

$$M_{uy} = 34.92 \text{ ton}$$

$$H_x = 12.4 \text{ ton}$$

$$H_y = 9.91 \text{ ton}$$

Tanah bersifat multilayer

$$\begin{aligned} L_e &= \text{panjang penjepitan} \\ &= 3 \times 0,6 \text{ m} = 1,8 \text{ m (menentukan)} \end{aligned}$$

Dipakai $L_e = 1,8 \text{ m}$

$$\begin{aligned} M_x &= L_e \times H_y \\ &= 1,8 \times 12,4 \\ &= 22,32 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= L_e \times H_y \\ &= 1,8 \times 9,91 \\ &= 17,84 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$M(\text{satu tiang pancang}) = \frac{22,32}{5} = 4,464 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned} M &< M_{\text{bending crack}} \text{ (dari Spesifikasi WIKA BETON)} \\ 4,5 \text{ tm} &< 29,00 \text{ tm} \dots\dots\dots \text{OK !!!} \end{aligned}$$

9.6 Perencanaan Poer

Poer direncanakan untuk meneruskan gaya dari struktur atas ke pondasi tiang pancang. Oleh karena itu poer harus memiliki kekuatan yang cukup terhadap geser pons dan lentur.

Data perencanaan poer :

$$\begin{aligned} \sum \text{tiang pancang tiap group} &= 5 \\ \text{Dimensi kolom} &= 600 \times 800 \text{ mm} \\ \text{Dimensi poer} &= 3,3 \times 4,48 \times 1 \text{ m} \\ \text{Mutu beton (} f'_c \text{)} &= 30 \text{ MPa} \\ \text{Mutu baja (} f_y \text{)} &= 400 \text{ MPa} \\ \text{Diameter tulangan} &= 22 \text{ mm} \\ \text{Selimut beton} &= 40 \text{ mm} \\ \text{Tinggi efektif (d) :} \\ dx = dy = 1000 - 40 - 1,5 \times 22 &= 927 \text{ mm} \end{aligned}$$

➤ Kontrol geser pons pada poer

Dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Kuat geser yang disumbangkan beton diambil yang terkecil dari :

$$V_{c1} = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'_c} \times b_o \times d}{6} \text{ SNI 03-2847-2002 Ps.13.12.2.1.a}$$

$$V_{c2} = \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f'_c} \times b_o \times d}{6} \text{ SNI 03-2847-2002 Ps.13.12.2.1.b}$$

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d \text{ SNI 03-2847-2002 Ps.13.12.2.c}$$

Dimana :

$$\beta_c = \text{Rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom} \\ = 800 / 600 = 1,33$$

$$b_o = \text{Keliling dari penampang kritis pada poer} \\ = 2 (b_{\text{kolom}} + d) + 2 (h_{\text{kolom}} + d) \\ = 5868 \text{ mm}$$

$$\alpha_s = 30$$

$$V_{c1} = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'_c} \times b_o \times d}{6} = 14,715,378.96 \text{ N}$$

$$V_{c2} = \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f'_c} \times b_o \times d}{6} = 11,772,303.17 \text{ N}$$

(menentukan)

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d = 11,772,303.17 \text{ N}, 78 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 11,772,303.17 \text{ N}$$

$$= 8,260,910.45 \text{ N}$$

$$= 842.95 \text{ Ton} > P_u = 678,32 \text{ ton} \rightarrow \text{OK!}$$

Jadi ketebalan dan ukuran poer yang direncanakan memenuhi syarat terhadap geser ponds.

9.6.1 Penulangan Poer

Untuk penulangan lentur, *poer* dianalisa sebagai balok *kantilever* dengan perletakan jepit pada kolom. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat (*P*) di tiang kolom yang berasal dari gaya perlawanan tanah (beban ijin terpusat dari tiang)

dan beban terbagi rata (q) yang berasal dari berat sendiri *poer*. Perhitungan gaya dalam pada *poer* didapat dengan teori mekanika statis tertentu.

$$P = 678.32 \text{ ton}$$

$$M_{ux} = 36.22 \text{ ton-m}$$

$$M_{uy} = 34.92 \text{ ton-m}$$

$$H_x = 12.4 \text{ ton}$$

$$H_y = 9.91 \text{ ton}$$

$$M_{ux} = 354,931,500 \text{ Nmm}$$

$$M_{uy} = 342,152,888 \text{ Nmm}$$

$$\text{Berat jenis beton} = 2.4 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^2$$

$$M_{uxn} = M_{ux} + \text{akibat beban poer}$$

$$= 354,931,500 \text{ N} + 2.4 \times 10^{-6} \times 3300 \times 4480^2 \times 1000$$

$$= 513,889,068 \text{ Nmm}$$

$$M_{uyn} = M_{uy} + \text{akibat beban poer}$$

$$= 342,152,888 \text{ N} + 2.4 \times 10^{-6} \times 3300^2 \times 4480 \times 1000$$

$$= 472,020,780 \text{ Nmm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 (\text{menentukan})$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 f_y} = \frac{\sqrt{30}}{4 \times 400} = 0,00342 (\text{menentukan})$$

$$\rho_{bal} = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) (\text{SNI-03-2847-2002 Ps. 10.4.3})$$

$$= 0,0306$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{balance} (\text{SNI-03-2847-2002 Ps. 12.3.3})$$

$$= 0,75 \times 0,0306$$

$$= 0,02295$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = 15,686$$

$$R_{nx} = \frac{M_{uxn}}{\phi b d^2} \\ = 0.2265$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_{nx}}{f_y}} \right) \\ = 0.0006151$$

Maka pakai $\rho_{\min} = 0.0035$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d_x \\ = 0,0035 \times 1000 \times 927 \\ = 2940.67 \text{ mm}^2$$

$$\text{Pakai tulangan D22, jumlah tul.} = \frac{2940.67}{0.25 \times \pi \times 22 \times 22 \times 0.25} = 8$$

$$\text{Jarak tul. perlu} = \frac{927 - 40 - 22 \times 0.5}{8} = 560$$

Dipasang tulangan tarik D22 – 150

$$R_{ny} = \frac{M_{uyn}}{\phi b d^2} \\ = 0.153$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_{ny}}{f_y}} \right) \\ = 0.000384$$

Maka pakai $\rho_{\min} = 0.0035$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d_x \\ = 0,0035 \times 1000 \times 927 \\ = 2940.67 \text{ mm}^2$$

$$\text{Pakai tulangan D22, jumlah tul.} = \frac{2940.67}{0.25 \times \pi \times 22 \times 22 \times 0.25} = 8$$

$$\text{Jarak tul. perlu} = \frac{927-40-22 \times 0.5}{8} = 560$$

Dipasang tulangan tarik D22 – 150

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB X

PENUTUP

10.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas akhir ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Beton pracetak memiliki kelebihan yaitu penulangan yang rapi dan finishing yang bagus.
2. Pendetailan sambungan adalah hal yang penting dalam desain beton pracetak.
3. Diperlukan SNI khusus mengenai beton pracetak.
4. Banyak penelitian diperlukan untuk menguji kemampuan sambungan beton pracetak dalam hal kemonolitan sambungan dalam menerima beban gempa.

10.2 Saran

1. Beton yang difabrikasi secara pracetak memiliki kelebihan yang banyak dari segi mutu, oleh karenanya diperlukan SNI khusus mengenai beton pracetak.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



JURUSAN TEKNIK SIPIL
ITS-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menur Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

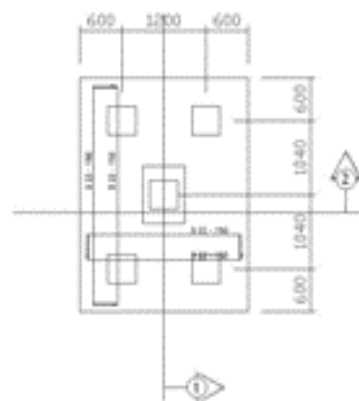
Azwin Amwar

3107100098

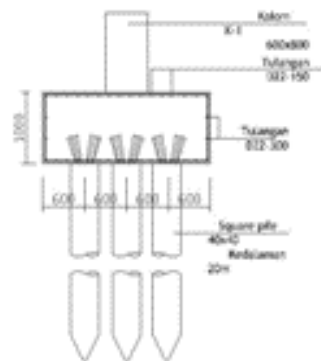
NOMOR GAMBAR

KETERANGAN

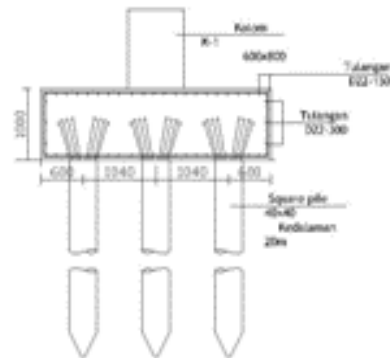
1. Semua satuan panjang gambar adalah millimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter



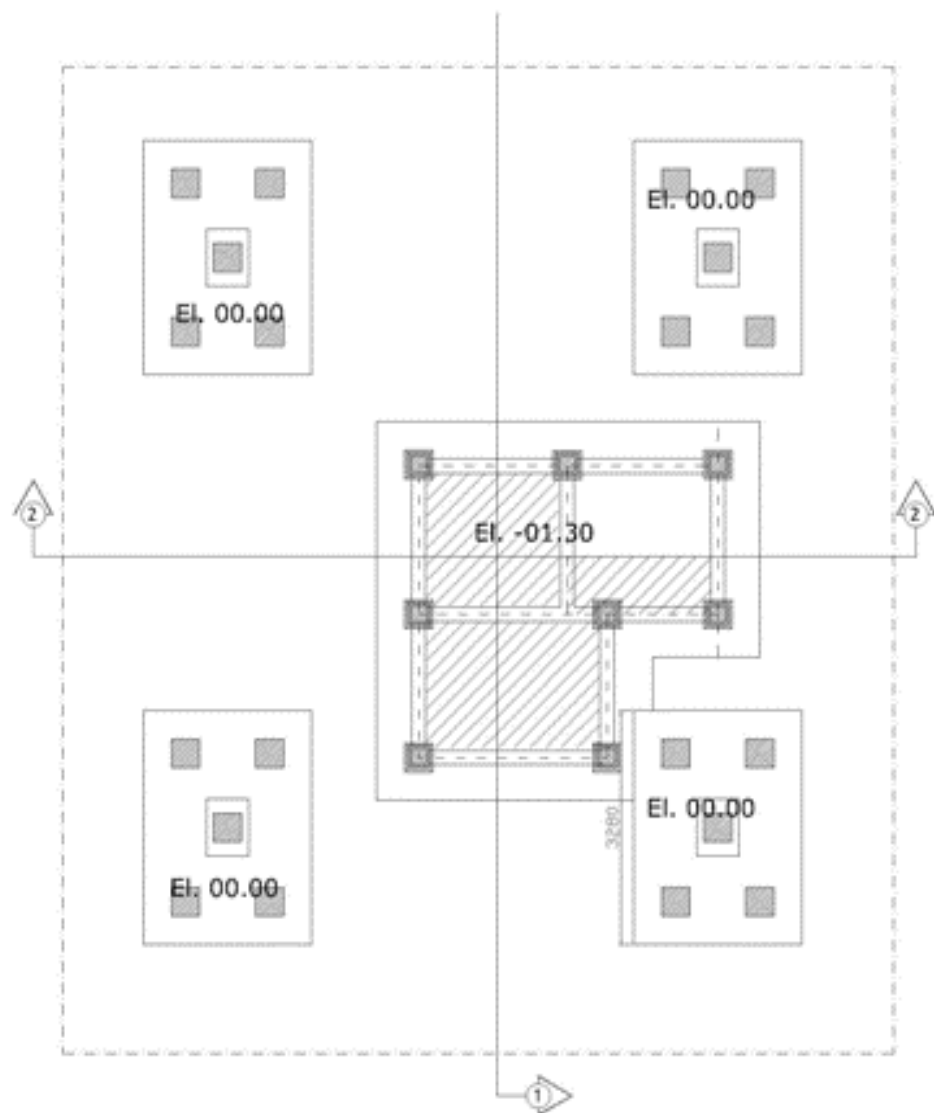
Detail penulangan
poer



Potongan 2-2



Potongan 1-1



Detail PITLIFT



JURUSAN TEKNIK SIPIL
ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menur Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

Azwin Amwar

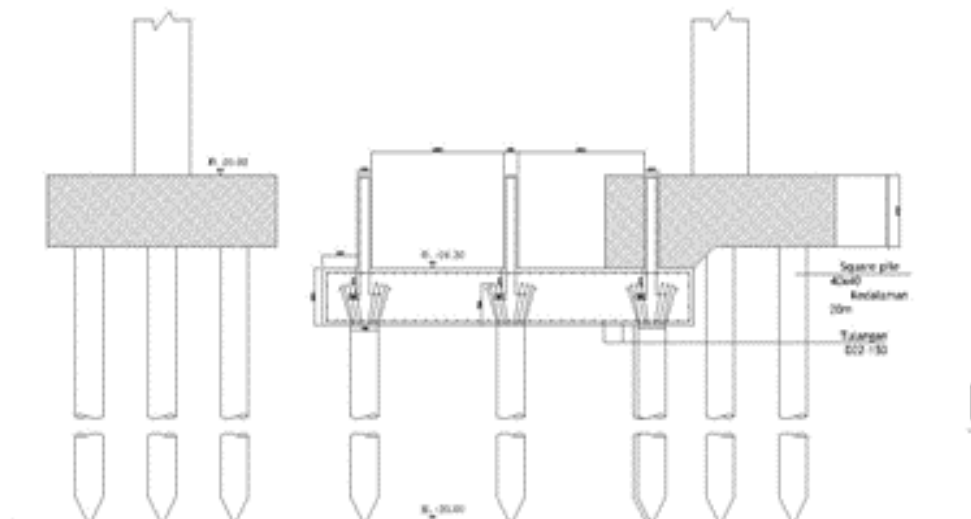
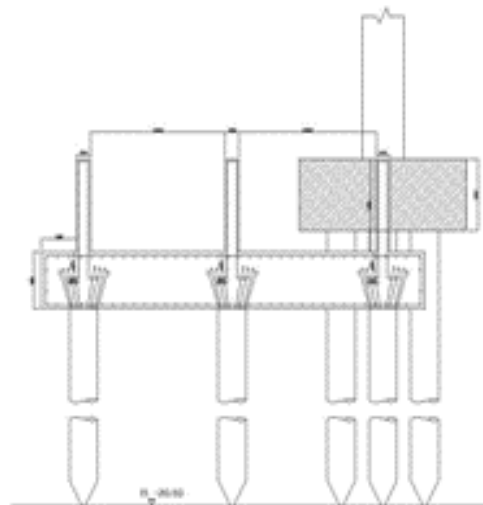
3107100098

NOMOR GAMBAR

KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah millimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter

POTONGAN 2-2



POTONGAN 1-1



JURUSAN TEKNIK SIPIL
ITS-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menur Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

Azwin Amwar

3107100098

NOMOR GAMBAR

KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah millimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter



JURUSAN TEKNIK SIPIL
ITS-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menor Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

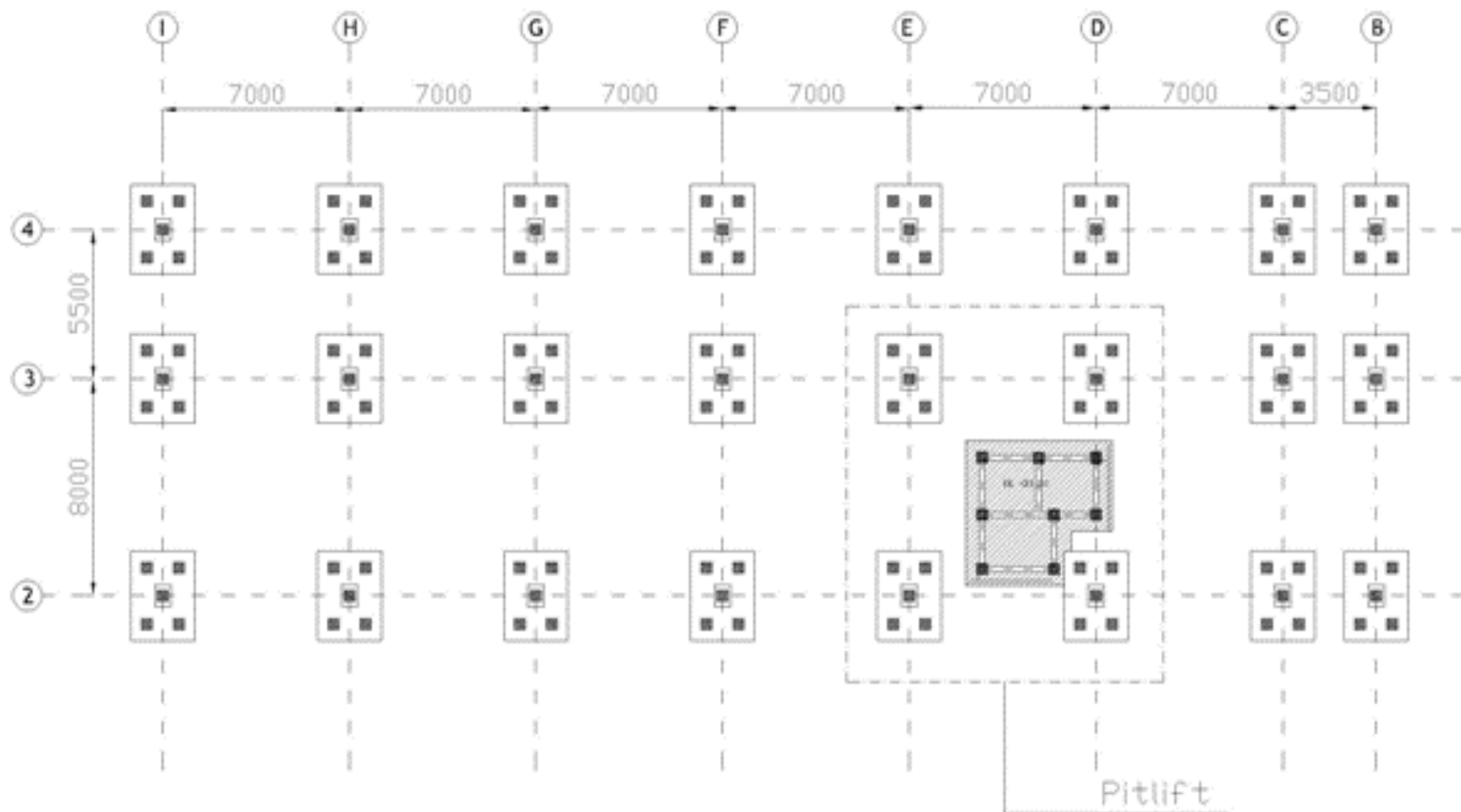
Azwin Amwar

3107100098

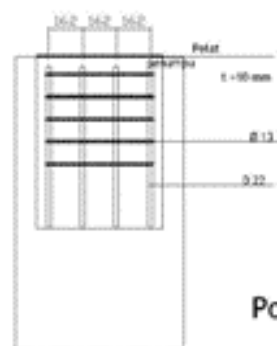
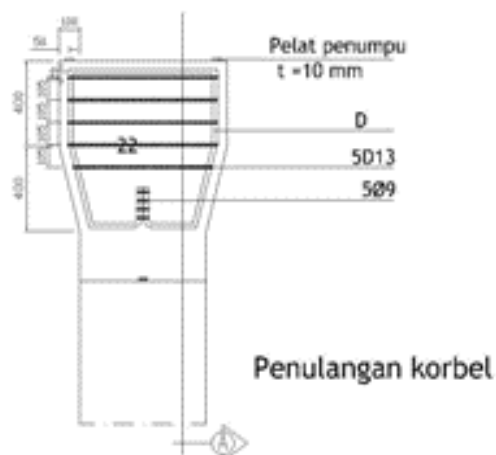
NOMOR GAMBAR

KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah millimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter



Denah Poer EL. +00.00



JURUSAN TEKNIK SIPIL
ITS-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menor Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

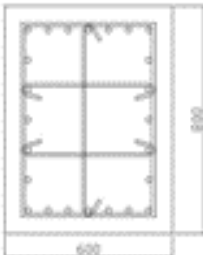
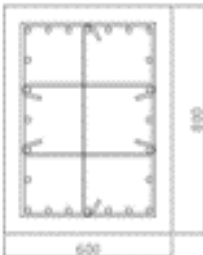
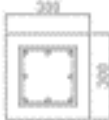
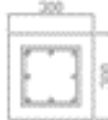
Azwin Amwar

3107100098

NOMOR GAMBAR

KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah millimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter

	K-1		K-2	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Penampang Kolom				
Dimensi kolom	600 x 800	600 x 800	300 x 300	300 x 300
Tulangan vertikal	24 Ø 22	24 Ø 22	8 Ø 16	8 Ø 16
Tulangan geser sb-y	3Ø13-100	3Ø13-100	Ø13-200	Ø13-200
Tulangan geser sb-x	4Ø13-100	4Ø13-100	Ø13-200	Ø13-200



JURUSAN TEKNIK SIPIL
ITS-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menur Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

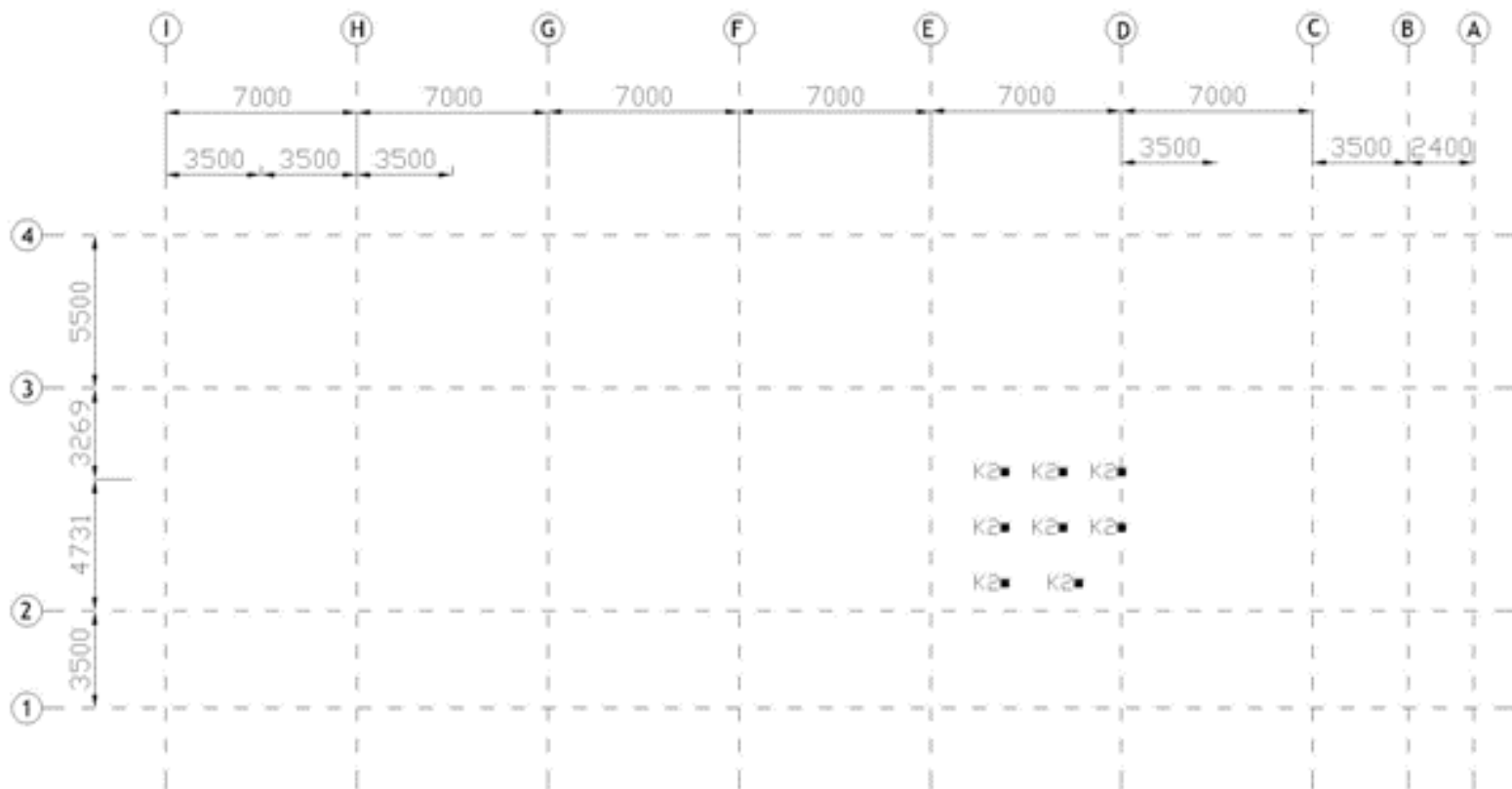
Azwin Amwar

3107100098

NOMOR GAMBAR

KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah millimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter



Denah Kolom Pitlift



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menor Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

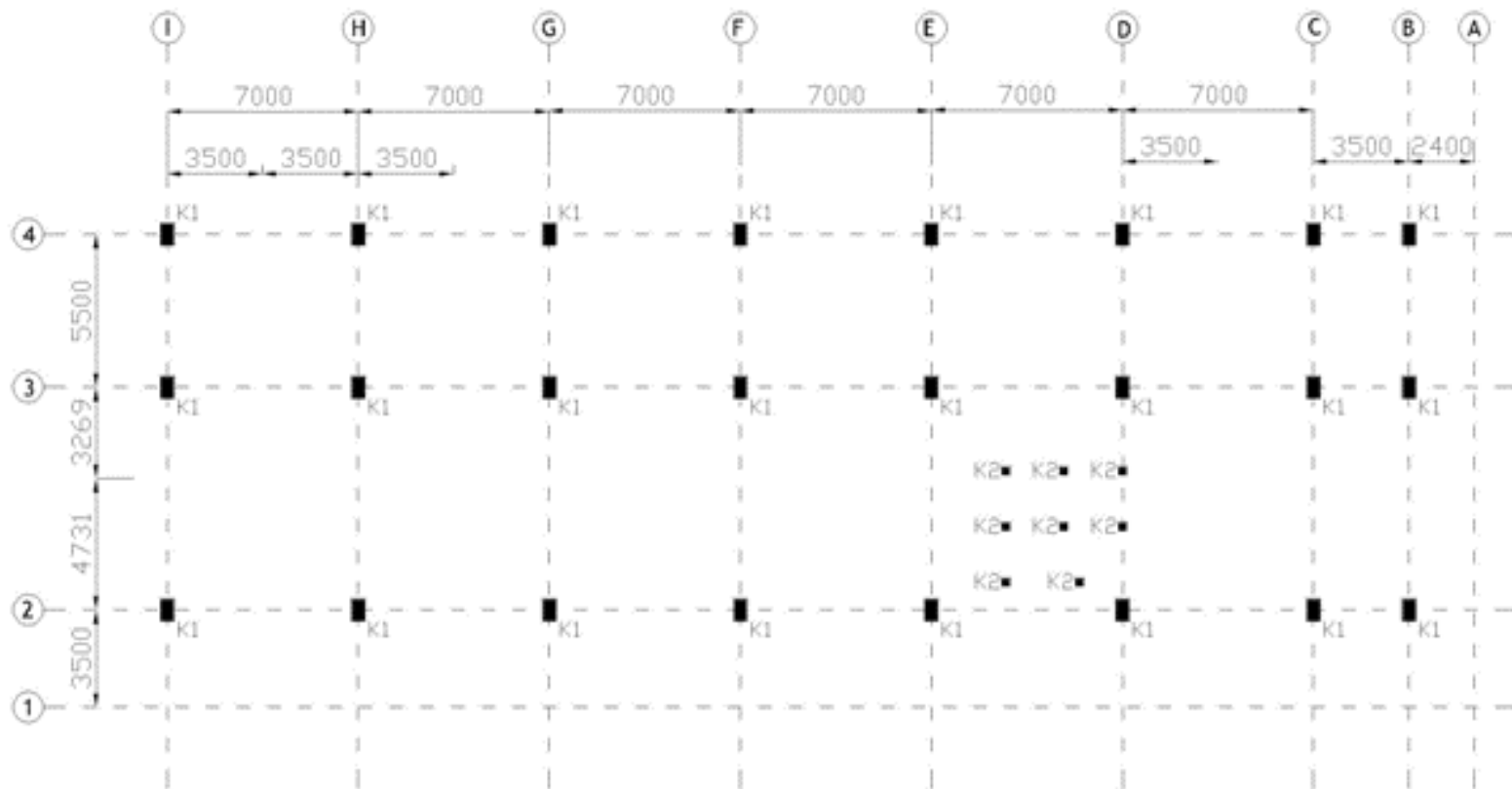
NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

Azwin Amwar



Denah Kolom lantai 1-12



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menur Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

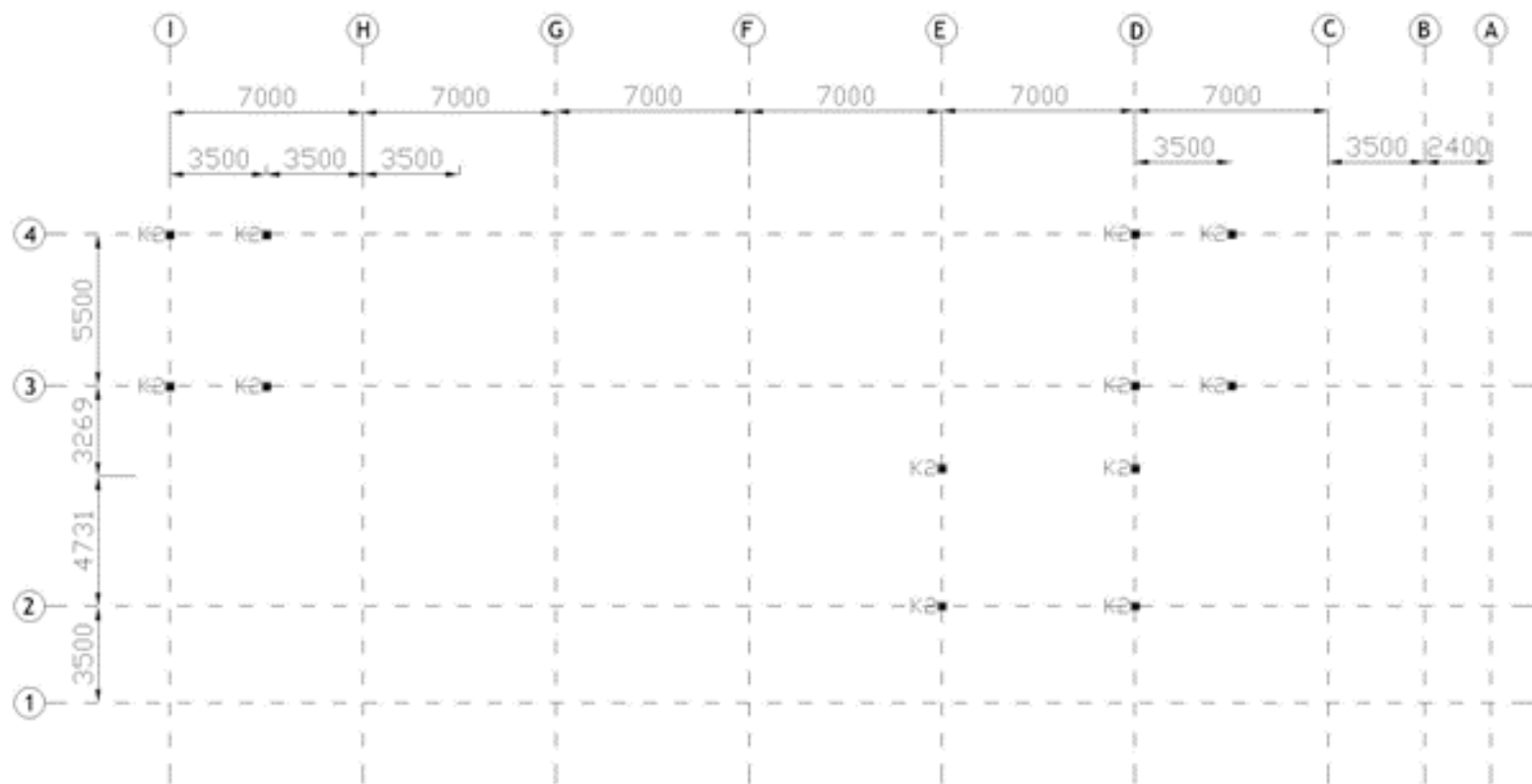
NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

Azwin Atwar



Denah Kolom lantai atap



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menur Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbudi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

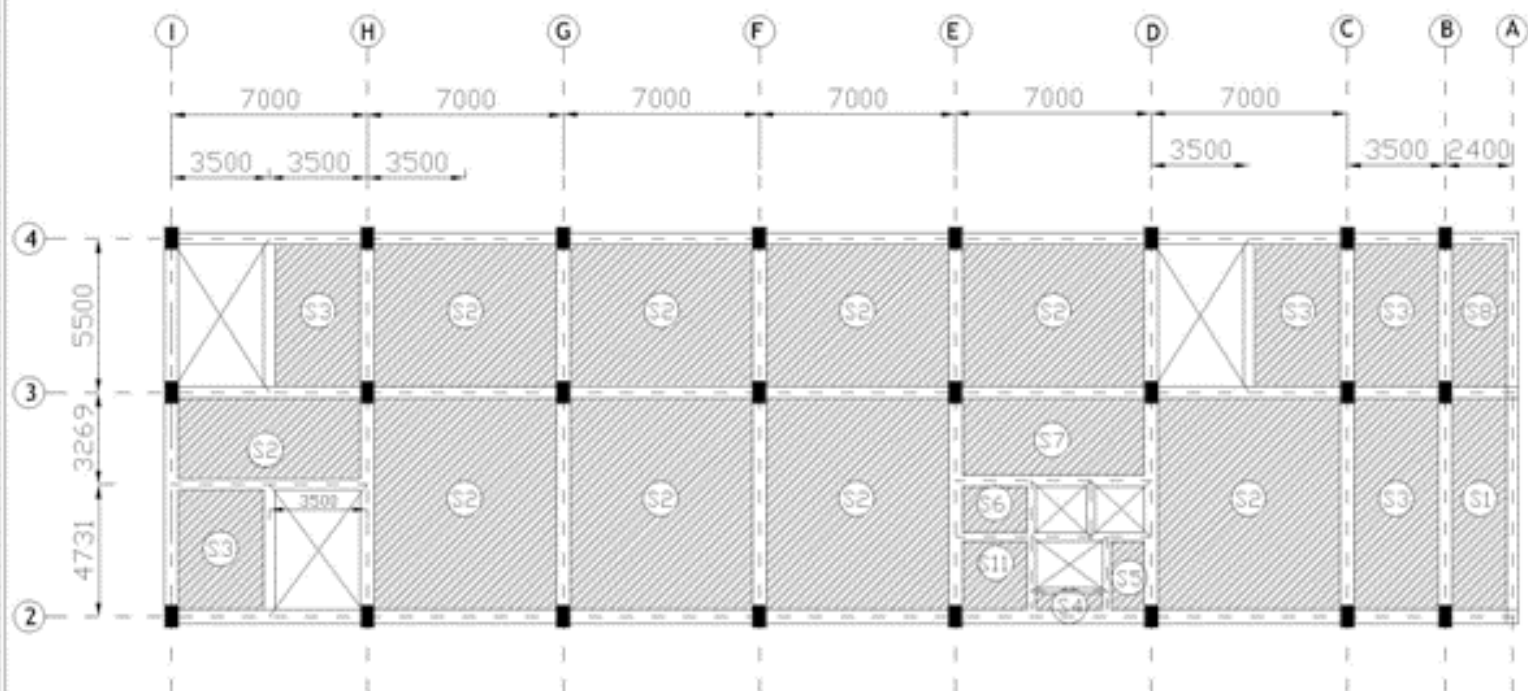
Azwin Atwar

3107100098

NOMOR GAMBAR

KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah milimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter



Denah pelat lantai 1



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menur Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

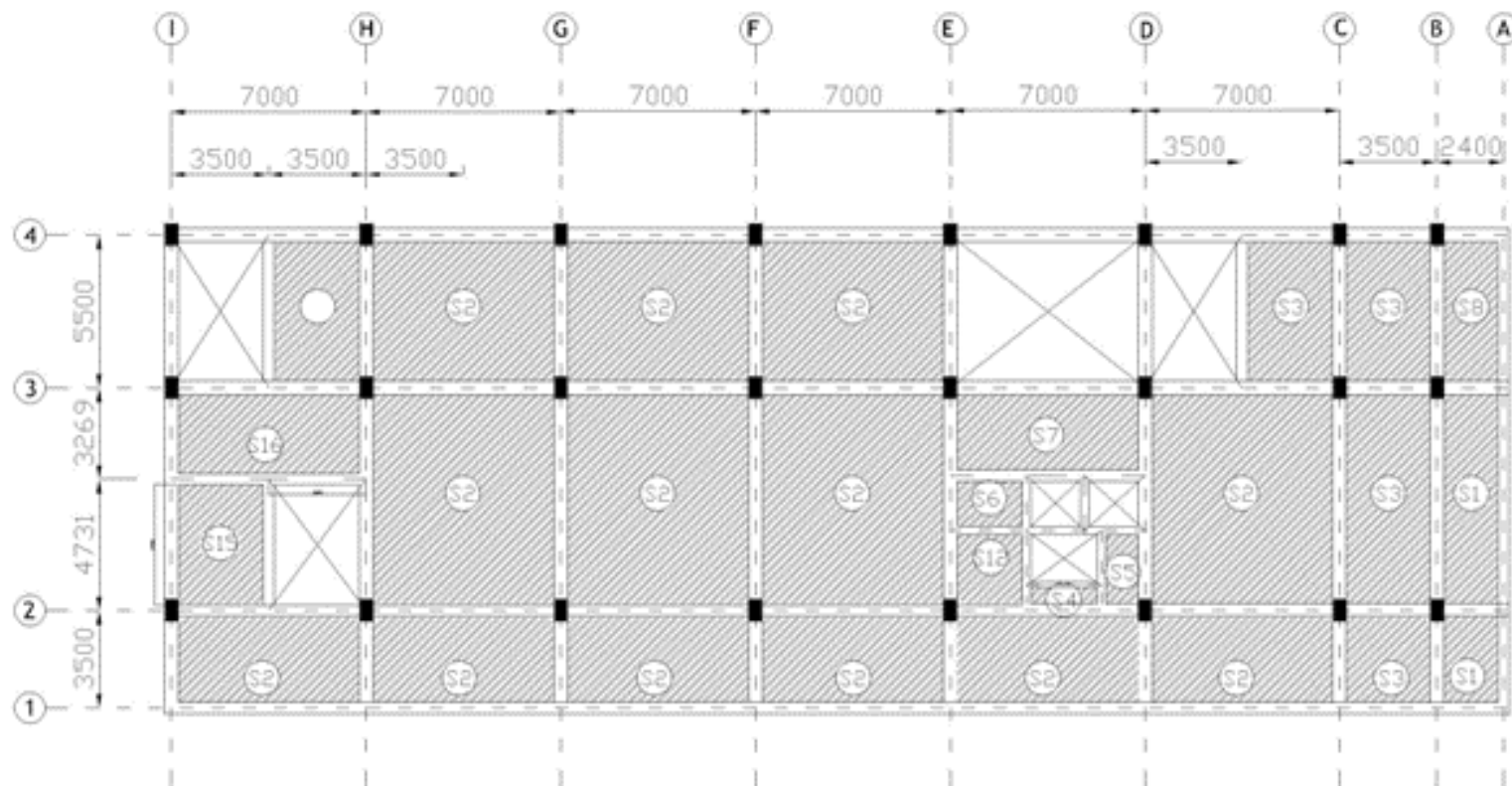
NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbudi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

Azwin Amwar



Denah pelat lantai 2



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menur Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

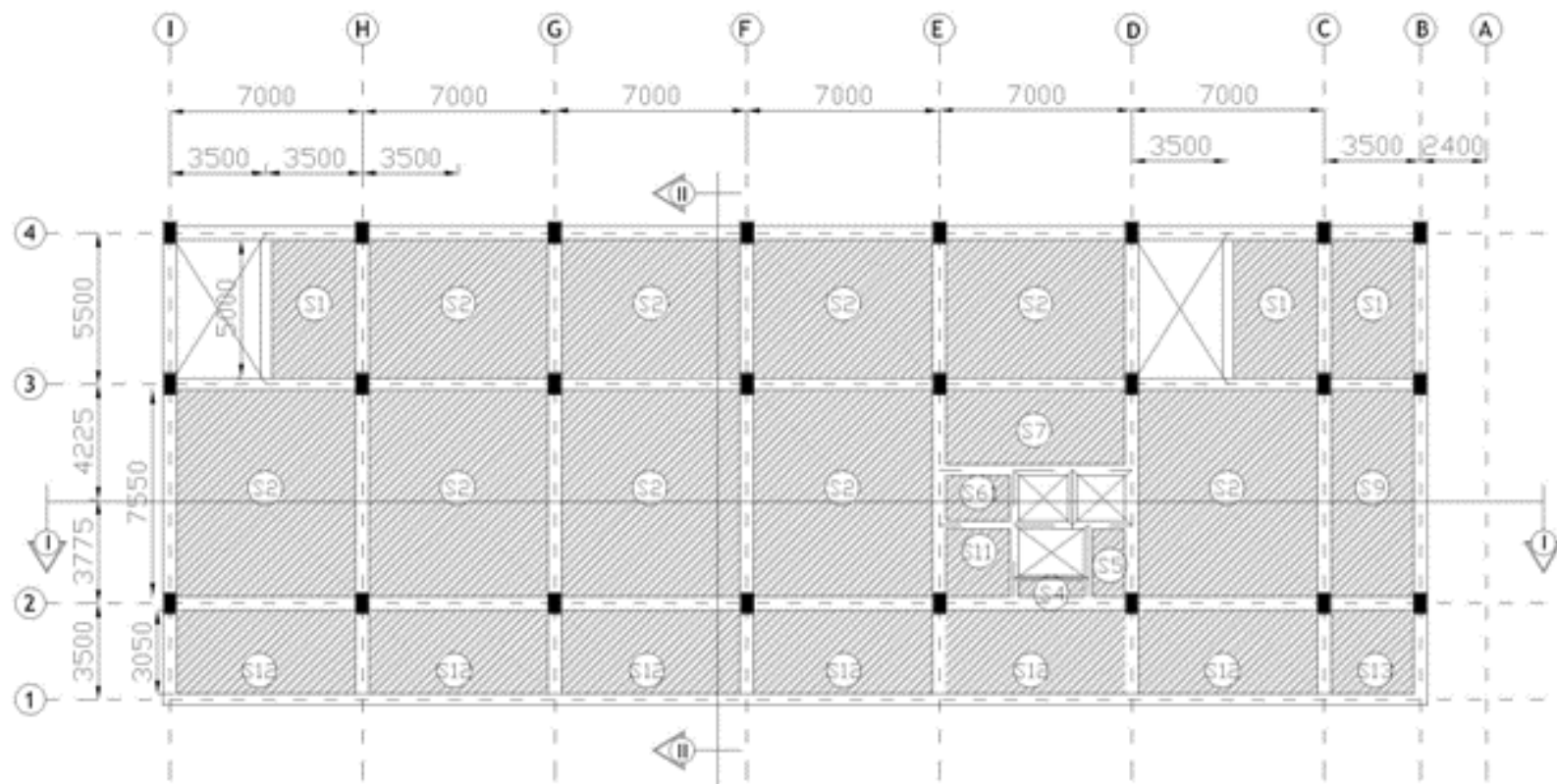
Azwin Amwar

3107100098

NOMOR GAMBAR

KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah milimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter



Denah pelat lantai 3



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menor Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbudi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

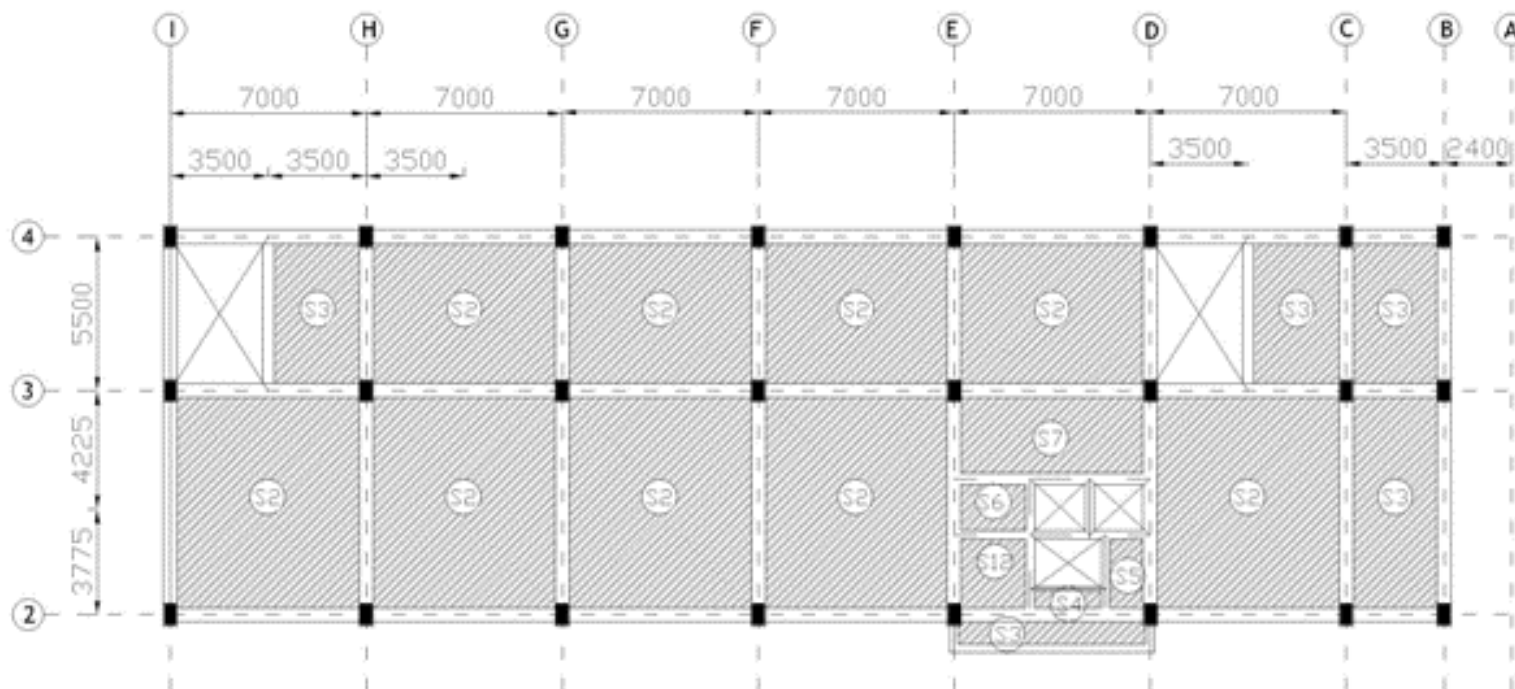
Azwin Amwar

3107100098

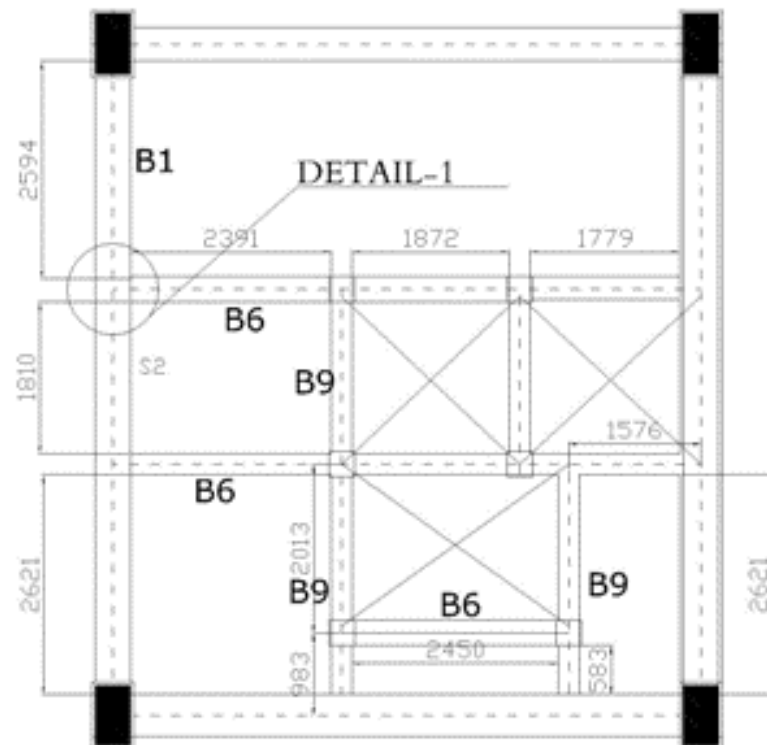
NOMOR GAMBAR

KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah milimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter



Denah pelat lantai 4-12



Denah ruang lift



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menur Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

Azwin Atwar

3107100098

NOMOR GAMBAR

KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah milimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menur Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbudi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

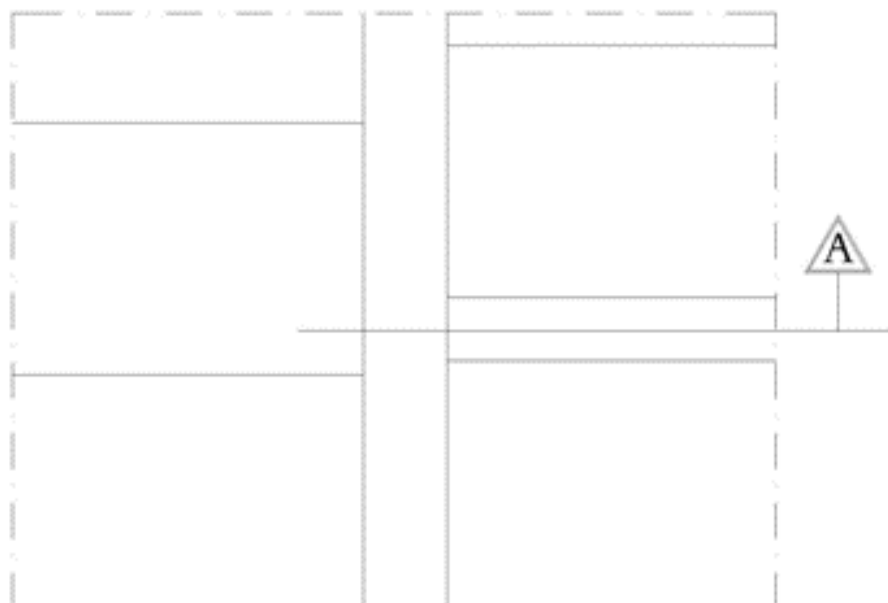
Azwin Amwar

3107100098

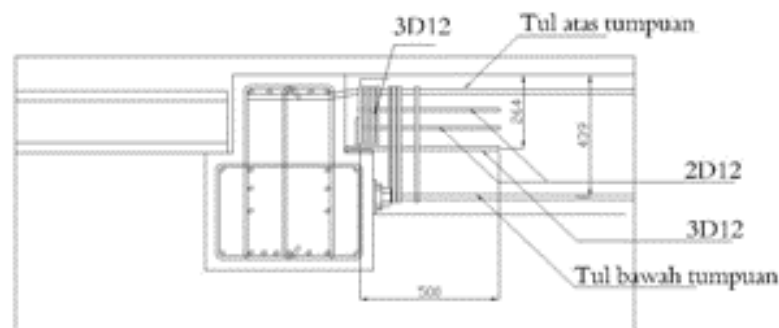
NOMOR GAMBAR

KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah milimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter



DETAIL-1



POTONGAN - A

Penampang Balok

	B-1		B-2	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Dimensi balok	400 x 700	400 x 700	400 x 700	400 x 700
Tulangan atas	8 D 19	7 D 19	5 D 19	4 D 19
Tulangan bawah	6 D 19	7 D 19	4 D 19	5 D 19
Tulangan torsi	6 D 19	6 D 19	-	-
Tulangan geser	3D12-100	D12-100	D12-150	D12-150
Tulangan longitudinal ledge	2 Ø 12	2 Ø 12	1 Ø 12	1 Ø 12
Tulangan transversal ledge	Ø12-200	Ø12-200	Ø12-150	Ø12-300
Tulangan Penggantung ledge	2 Ø 12	2 Ø 12	1 Ø 12	1 Ø 12

Penampang Balok

	B-3		B-4	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Dimensi balok	400 x 700	400 x 700	400 x 700	400 x 700
Tulangan atas	5 D 19	4 D 19	5 D 19	5 D 19
Tulangan bawah	3 D 19	5 D 19	3 D 19	5 D 19
Tulangan torsi	6 D 19	6 D 19	6 D 19	6 D 19
Tulangan geser	3D12-100	3D12-100	3D12-150	3D12-150
Tulangan longitudinal ledge			1 Ø 12	1 Ø 12
Tulangan transversal ledge			2Ø12-200	2Ø12-200
Tulangan Penggantung ledge			1 Ø 12	1 Ø 12



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menor Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Precast Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

Azwin Amwar

3107100098

NOMOR GAMBAR

KETERANGAN

- Semua satuan panjang gambar adalah milimeter kecuali disebutkan lain.
- Semua satuan elevasi dalam meter



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menor Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

Azwin Atwar

3107100098

NOMOR GAMBAR

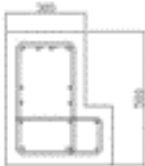



KETERANGAN

- Semua satuan panjang gambar adalah milimeter kecuali disebutkan lain.
- Semua satuan elevasi dalam meter

	B-5		B-6	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Penampang Balok				
Dimensi balok	400 x 700	400 x 700	300 x 500	300 x 500
Tulangan atas	5 D 19	4 D 19	5 D 19	4 D 19
Tulangan bawah	3 D 19	5 D 19	4 D 19	5 D 19
Tulangan torsi	2 D 19	2 D 19	4 D 19	4 D 19
Tulangan geser	D12-150	D12-150	D12-100	D12-100
Tulangan longitudinal ledge	1 Ø 12	1 Ø 12		
Tulangan transversal ledge	2Ø12-200	2Ø12-200		
Tulangan Penggantung ledge	1 Ø 12	1 Ø 12		

	B-7		B-8	B-9
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Tumpuan
Penampang Balok				
Dimensi balok	400 x 700	400 x 700	400 x 700	300 x 500
Tulangan atas	6 D 19	5 D 19	10 D 19	5 D 19
Tulangan bawah	4 D 19	6 D 19	8 D 19	4 D 19
Tulangan torsi	6 D 19	6 D 19	6 D 19	4 D 13
Tulangan geser	3Ø12-150	D12-150	3Ø12-100	3 Ø12-100
Tulangan longitudinal ledge	1 Ø 12	1 Ø 12	1 Ø 12	1 Ø 12
Tulangan transversal ledge	2Ø12-200	2Ø12-200	2Ø12-200	2Ø12-200
Tulangan Penggantung ledge	1 Ø 12	1 Ø 12	1 Ø 12	1 Ø 12

Penampang Balok

	B-9	B-10		B-11
	Tumpuan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan
				
Dimensi balok	300 x 500	400 x 700	400 x 700	400 x 700
Tulangan atas	5 D 19	5 D 19	3 D 19	6 D 19
Tulangan bawah	4 D 19	3 D 19	5 D 19	4 D 19
Tulangan torsi	6 D 13	-	-	4 D 19
Tulangan geser	3 Ø12-100	Ø12-150	Ø12-150	Ø12-150
Tulangan longitudinal ledge	1 Ø 12	1 Ø 12	1 Ø 12	
Tulangan transversal ledge	2Ø12-200	2Ø12-200	2Ø12-200	
Tulangan Penggantung ledge	1 Ø 12	1 Ø 12	1 Ø 12	

Penampang Balok

	B-12
	Tumpuan
	
Dimensi balok	400 x 700
Tulangan atas	7 D 19
Tulangan bawah	5 D 19
Tulangan torsi	6 D 19
Tulangan geser	3Ø12-150
Tulangan longitudinal ledge	
Tulangan transversal ledge	
Tulangan Penggantung ledge	



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menor Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

Azwin Atwar

3107100098

NOMOR GAMBAR

KETERANGAN

- Semua satuan panjang gambar adalah milimeter kecuali disebutkan lain.
- Semua satuan elevasi dalam meter



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menor Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

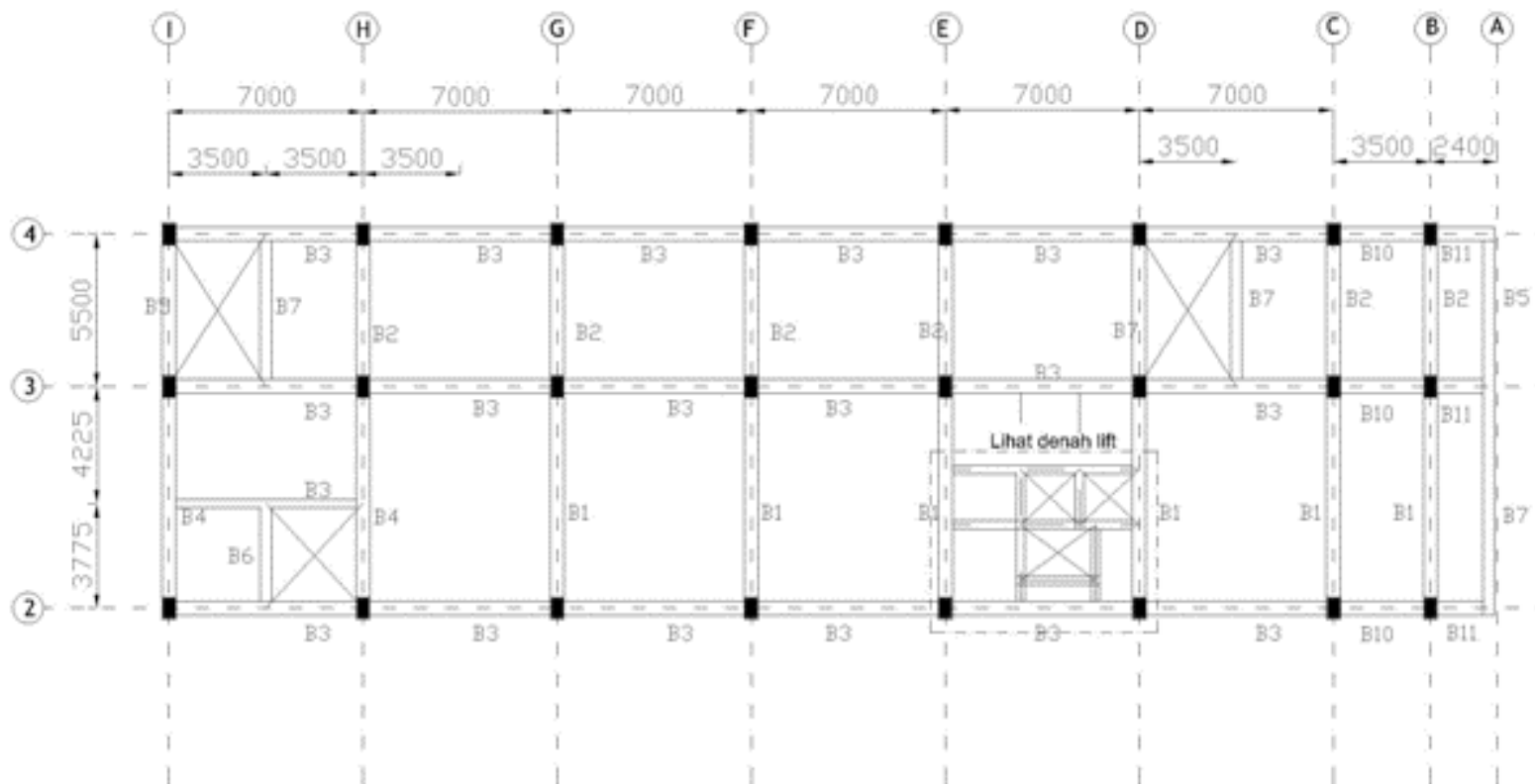
Azwin Amwar

3107100098

NOMOR GAMBAR

KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah milimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter





JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menur Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

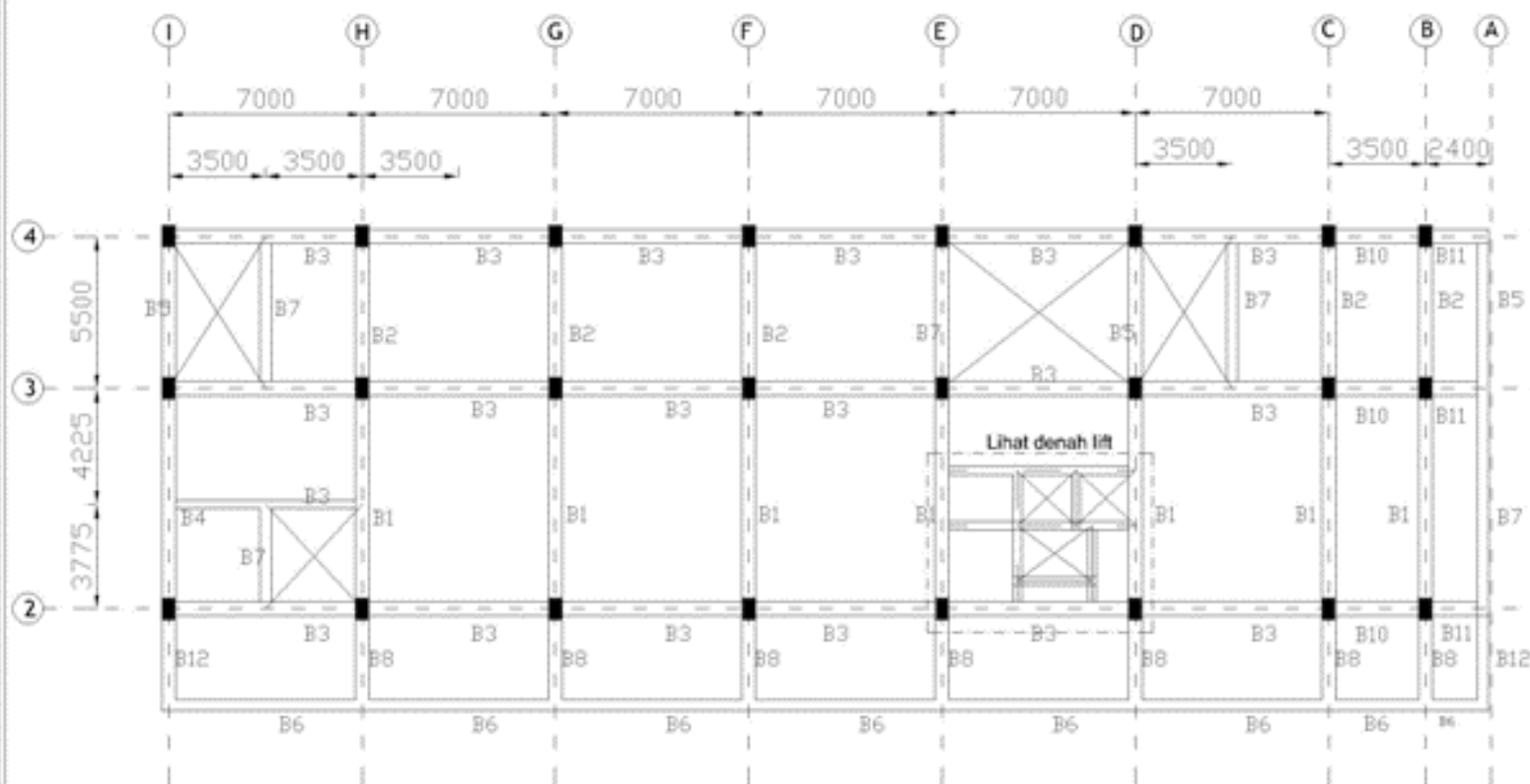
Azwin Amwar

3107100098

NOMOR GAMBAR

KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah milimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter



Denah Balok lantai 2



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menur Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

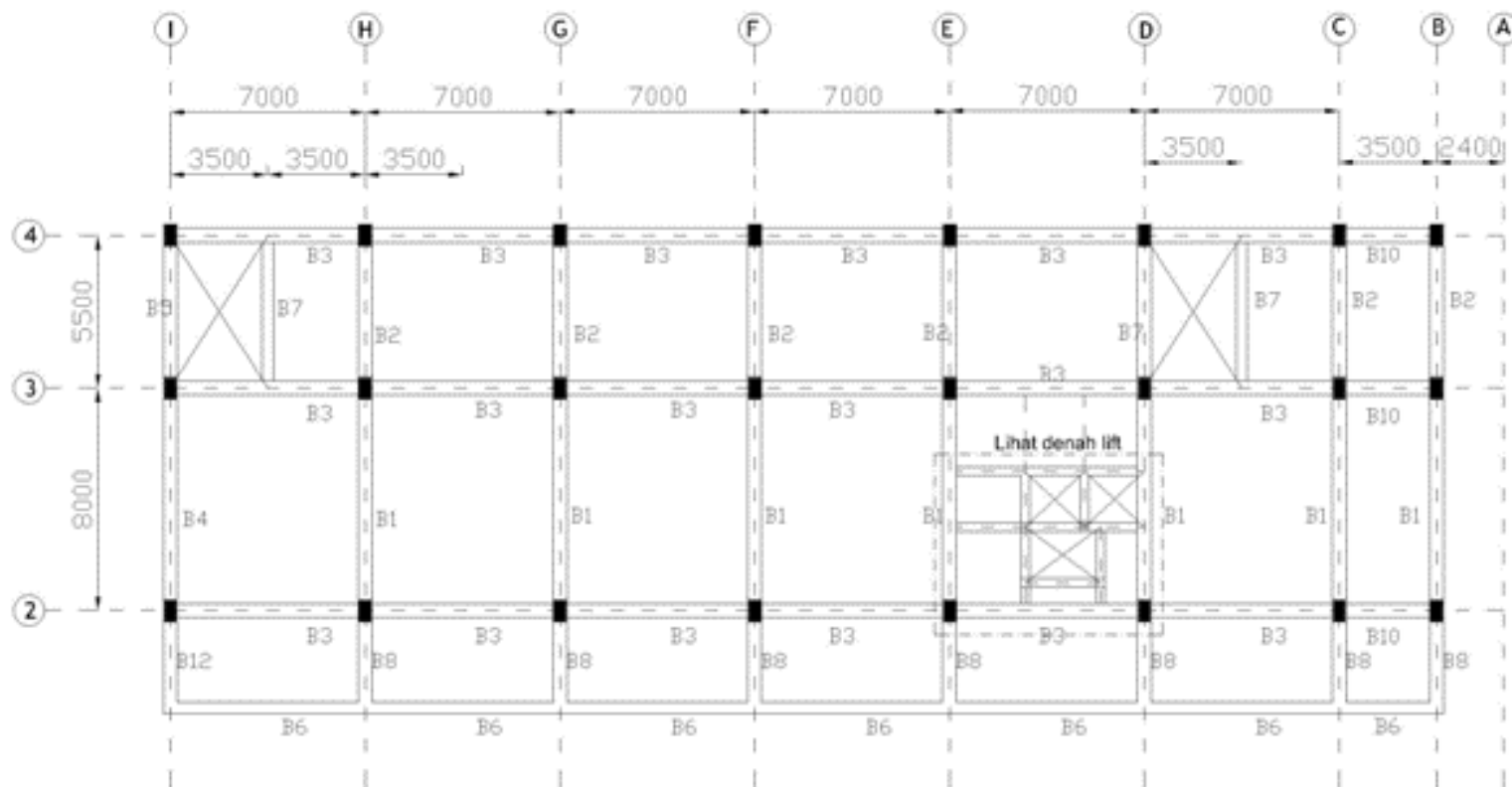
Azwin Amwar

3107100098

NOMOR GAMBAR

KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah milimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter



Denah Balok lantai 3



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menur Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

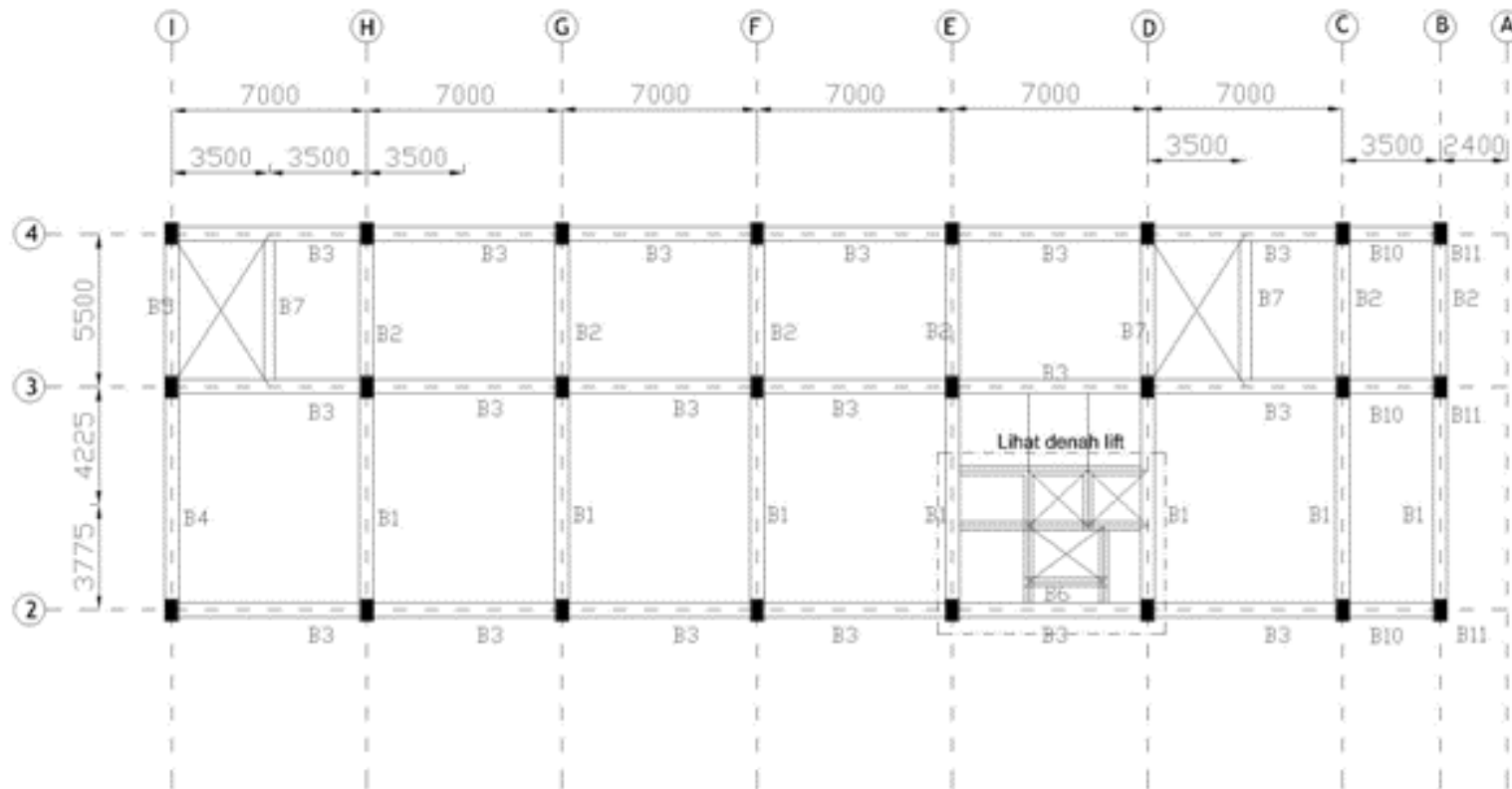
Azwin Atwar

3107100098

NOMOR GAMBAR

KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah milimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter



Denah Balok lantai 4-12



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menur Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001



Azwin Amwar



3107100098



NOMOR GAMBAR



KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah milimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter

Detail Pelat <i>Hollow Core</i>		
Ilustrasi denah pelat S1		Jumlah Pelat
	Detail Hollow Core 1	3
		Jumlah Pelat
	Detail Hollow Core 2	2

Detail Pelat <i>Hollow Core</i>		
Ilustrasi denah pelat S4		Jumlah Pelat
	Detail Hollow Core 1	1
		Jumlah Pelat
	Detail Hollow Core 2	0

Detail Pelat <i>Hollow Core</i>		
Ilustrasi denah pelat S2		Jumlah Pelat
	Detail Hollow Core 1	5
		Jumlah Pelat
	Detail Hollow Core 2	2

Detail Pelat <i>Hollow Core</i>		
Ilustrasi denah pelat S3		Jumlah Pelat
	Detail Hollow Core 1	1
		Jumlah Pelat
	Detail Hollow Core 2	0



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menur Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001



Azwin Amwar



3107100098



NOMOR GAMBAR



KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah milimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter

Detail Pelat <i>Hollow Core</i>		
Ilustrasi denah pelat S5		Jumlah Pelat 1
	Detail Hollow Core 1	
		Jumlah Pelat 2
	Detail Hollow Core 2	

Detail Pelat <i>Hollow Core</i>		
Ilustrasi denah pelat S7		Jumlah Pelat 2
	Detail Hollow Core 1	
		Jumlah Pelat 1
	Detail Hollow Core 2	

Detail Pelat <i>Hollow Core</i>		
Ilustrasi denah pelat S6		Jumlah Pelat 1
	Detail Hollow Core 1	
		Jumlah Pelat 1
	Detail Hollow Core 2	

Detail Pelat <i>Hollow Core</i>		
Ilustrasi denah pelat S8		Jumlah Pelat 3
	Detail Hollow Core 1	
		Jumlah Pelat 2
	Detail Hollow Core 2	



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menur Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001




Azwin Amwar




3107100098





NOMOR GAMBAR


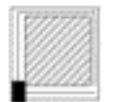

KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah milimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter

Detail Pelat <i>Hollow Core</i>		
Ilustrasi denah pelat S9		Jumlah Pelat 5
		Jumlah Pelat 2

Detail Pelat <i>Hollow Core</i>		
Ilustrasi denah pelat S10		Jumlah Pelat 5
		Jumlah Pelat 2

Detail Pelat <i>Hollow Core</i>		
Ilustrasi denah pelat S12		Jumlah Pelat 1
		Jumlah Pelat 1
		Jumlah Pelat 1

Detail Pelat <i>Hollow Core</i>		
Ilustrasi denah pelat S11		Jumlah Pelat 1
		Jumlah Pelat 2



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menor Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

Azwin Amwar

3107100098

NOMOR GAMBAR

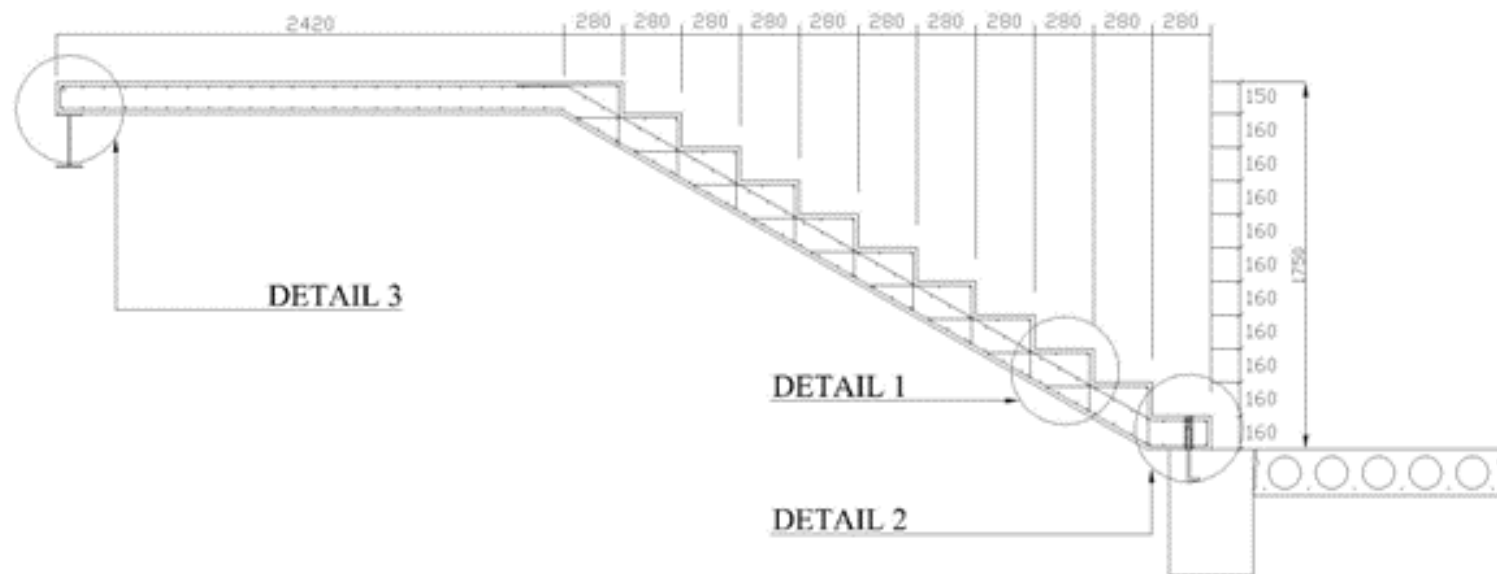
KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah milimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter

Detail Pelat <i>Hollow Core</i>		
Ilustrasi denah pelat S15		Jumlah Pelat 3
		Jumlah Pelat 1
Detail Pelat <i>Hollow Core</i>		
Ilustrasi denah pelat S13		Jumlah Pelat 1
		Jumlah Pelat 1
		Jumlah Pelat 1
Detail Pelat <i>Hollow Core</i>		
Ilustrasi denah pelat S14		Jumlah Pelat 1
		Jumlah Pelat 1
		Jumlah Pelat 1

Detail Pelat <i>Hollow Core</i>		
Ilustrasi denah pelat S16		Jumlah Pelat 1
		Jumlah Pelat 1
		Jumlah Pelat 1

Detail Pelat <i>Hollow Core</i>		
Ilustrasi denah pelat S17		Jumlah Pelat 3
		Jumlah Pelat 2



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menur Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

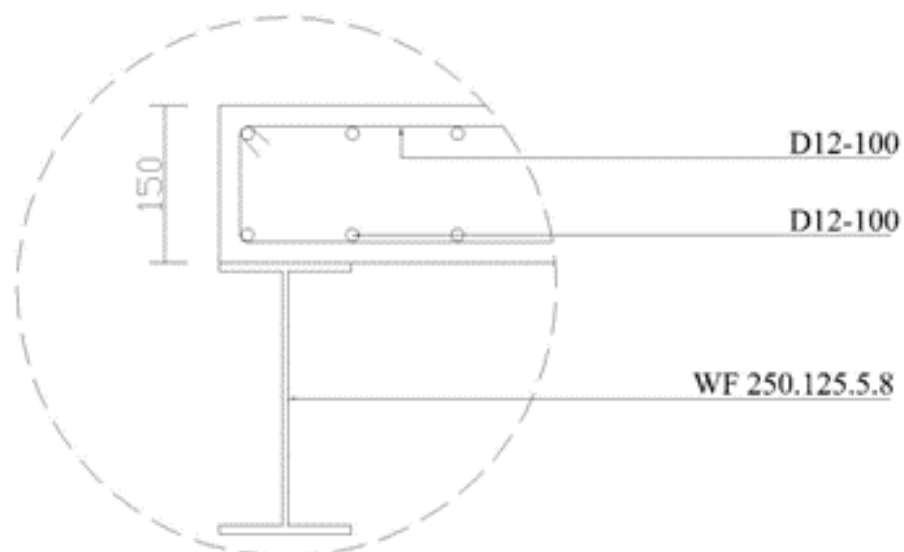
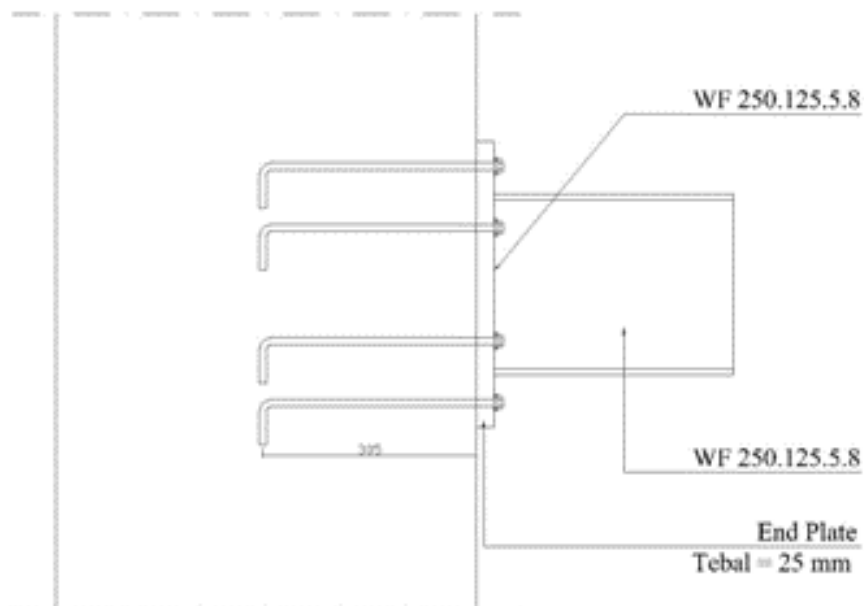
Azwin Amwar

3107100098

NOMOR GAMBAR

KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah milimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter



JURUSAN TEKNIK SIPIL
ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menur Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

Azwin Amwar

3107100098

NOMOR GAMBAR

KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah milimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menur Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

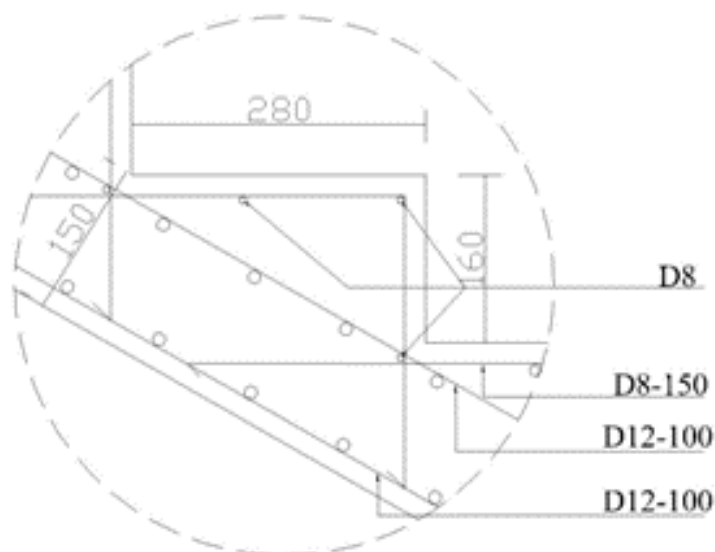
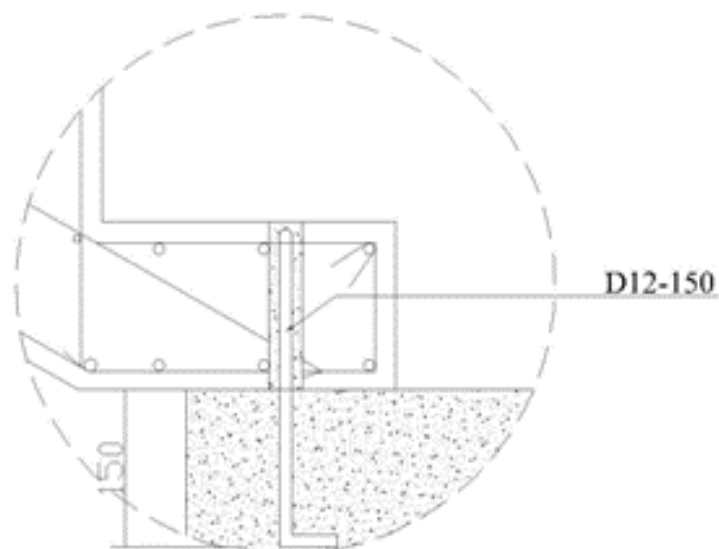
Azwin Amwar

3107100098

NOMOR GAMBAR

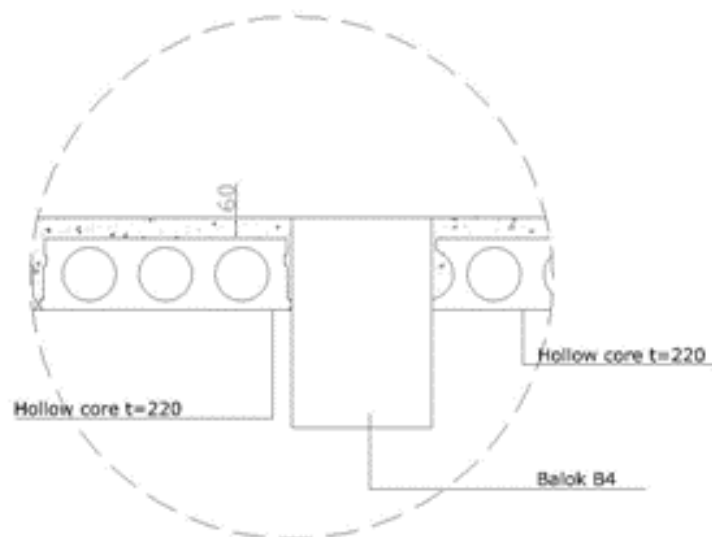
KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah milimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter





Potongan II-II



Detail 1



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Gedung Hotel
Menur Surabaya Dengan Menggunakan
Beton Pracetak Berpelat *Hollow Core*
Sistem Rangka Pemikul Momen
Menengah

NAMA DOSEN PEMBIMBING

Ir. Iman Wimbadi, MS.

NIP. DOSEN PEMBIMBING

194908261978031001

Azwin Amwar

3107100098

NOMOR GAMBAR

KETERANGAN

1. Semua satuan panjang gambar adalah milimeter kecuali disebutkan lain.
2. Semua satuan elevasi dalam meter